

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

HENRIQUE GREGGI DE ALCANTARA

# **Fitorremediação de solos contaminados por metais pesados**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

HENRIQUE GREGGI DE ALCANTARA

# **Fitorremediação de solos contaminados por metais pesados**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro 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

2017



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

# **FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS.**

por

**HENRIQUE GREGGI DE ALCANTARA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof. Dr. José Hilton B. de Araújo

---

Prof. Dr. Nelson Consolin-filho

---

Prof. Dra. Darlene Lopes do Amaral Oliveira

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.*

## AGRADECIMENTO

Primeiramente, dedico esse trabalho ao meu pai, Antonio Leofredo Santos de Alcantara, que foi meu melhor amigo, e me ensinou a sonhar, além de sempre estar comigo em todas as minhas decisões. Não menos, dedico também a pessoa mais importante da minha vida, minha mãe, Regina Helena Gregg de Alcantara, a qual foi a responsável por me fazer erguer a cabeça em todos os momentos difíceis e continuar lutando. Mãe, obrigado por todo o apoio, por sempre ter acreditado e confiado em mim. Obrigado “Dona Onça”, por todo dia rezar e pedir a Deus para me proteger, me dar força e sabedoria.

Obrigado Deus, por ter ouvido todas essas orações, por ter estado comigo desde o começo, sempre me ensinando com os meus erros e desfrutando junto comigo dos acertos. Obrigado meu Deus por ceder o colo de sua mãe, Maria, nos momentos mais difíceis. Obrigado minha santa Mãe por me zelar, proteger e me guardar em seus braços, me cobrindo com seu manto e amor.

Agradeço a minha Tata, Suzana, por sempre me ajudar, ser minha conselheira e exemplo de vida, seja profissionalmente ou como pessoa. Assim como agradeço a minha tia Paulina, minha segunda mãe, por sempre ter estado do meu lado, apoiando e incentivando tudo aquilo que eu já tentei fazer. Não menos importante, agradeço a todos os meus familiares e agregados pelo apoio, em especial meu padrinho, Armando Verceze; minha tia-madrinha, Cidinha; ao Fêmea, Renato Marcon; a Tia Carminha; ao Tio Adilson e a Tia Bia, aos meus primos Robin, Jean, Kleber, os quais foram pessoas essenciais para meu desenvolvimento.

Agradeço a minha prima Helena Pedrão e ao meu primo Eduardo Gregg pelo apoio, mensagens e vídeos no WhatsApp, eles fizeram muitas vezes meus dias menos depressivos. Para finalizar o agradecimento a família, agradeço a família que a vida me deu, obrigado Fábio Sarqueze, Thiago Braga, Rafael Rosiello, Joao Pedro Rocha, Guilherme Rodrigues, Luciano Zangari, Caio Serantola, Iago Danielli, Cícero Alves, André Salles, Eduardo Cristófani, Henrique marques, Jean Souza e Ronald Couto.

Agradeço a toda coordenação do curso de Engenharia Ambiental e a todos os professores que em algum dia me deram aula e, portanto, participaram da minha vida acadêmica, indiferente de qual seja o ano. Especialmente ao Prof. Dr. José Hilton por ter aceito ser meu orientador nesta pesquisa, assim como a Prof. Dra. Débora Cristina pelos primeiros anos de orientação na faculdade e por ter sempre me ajudado.

Agradeço a Cristiane Kreutz, Marcia Oliveira, Paulo Agenor, Cristian Coelho pela ajuda dentro e fora da universidade. Também deixo aqui meus agradecimentos a todos os meus amigos e colegas feitos nestes longos anos dentre Campo Mourão, Ribeirão Preto e Vancouver. Assim como, agradeço a todas da empresa CCM Ambiental Ltda., tanto pelo estágio como pela preocupação, ensinamentos e momentos vividos.

Agradeço a todos aqueles que sempre torceram por mim, e dividiram grandes momentos, são estes: Tia Dirce, Fabiana Sarqueze, Thiago Parisi, Eliana, Michelle Barcelos, Filipe Côgo (Felipão), Daniel Tomaz, Gigliolla Biason e Tamyris Tavares.

E por último e de grande importância, agradeço as pessoas que duvidaram de mim, dizendo que eu estava perdendo tempo, dinheiro e que eu não iria conseguir nada.

**MUITO OBRIGADO!!**

“Quando você sonha alto,  
todos os passos parecem  
ser o primeiro.

Então, esse é só o primeiro  
passo mais uma vez! ”

(Projota)

## RESUMO

Perante a constante evolução humana e da falta de cuidados, o ambiente tem sofrido com constantes ataques, o que tem ficado mais perceptível perante a poluição causada. Visando assim recuperar as áreas poluídas houve o início a estudos relacionados a tratamentos, dentre estes os das áreas de mineração, isto é, dos solos contaminados por metais pesados. Um dos métodos que tem mostrado eficácia é a fitorremediação, que é baseada na utilização de plantas como agentes remediares em ambientes contaminados. Com isso, o referente estudo pretende verificar o potencial de fitoextração da espécie *Jatropha curcas L.* mais conhecida como Pinhão - Manso. As amostras de solo foram contaminadas por sais de chumbo,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ , e de cromo,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , em diferentes concentrações (72 mg, 180 mg e 300 mg para Chumbo e 75 mg, 150 mg e 300 mg para Cromo) por quilo de solo utilizado. Durante o período da experiencia, 54 dias, as plantas tiveram alturas, número de folhas e aspectos físicos monitorados, e após coleta foram encaminhadas ao Laboratório Santa Rita, na cidade de Mamborê – PR, para a determinação do teor dos metais adsorvido. Os resultados obtidos na fitoextração das amostras mostraram que a espécie em questão é capaz de absorver os metais, recuperando/tratando o solo.

Palavras chave: Fitorremediação, *Jatropha curcas L.*, Metais pesados.

## ABSTRACT

### **Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals.**

Towards the constant human evolution, the environment has suffered constant attacks, which has become more noticeable because of the pollution caused by the evolution. To recover the polluted areas started to study possible treatments, between them, to recuperate the mining areas, that is, the soils contaminated by heavy metals. One of the methods that has proved effective is the phytoremediation, which is based on the use of plants as remedial agents in contaminated environments. Through this, the referent research proposes to verify the phytoextraction potential of the species *Jatropha curcas L.*, knowledge as Pinhão - Manso. The soils samples were contaminated with lead salt,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ , and chrome salt,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , in different concentrations (72 mg, 180 mg and 300 mg for lead and 75 mg, 150 mg and 300 mg for chrome) per kilogram of soil. During the experiment period, 54 days, the plants had heights, number of leaves and physical aspects monitored, and after collection, all the samples were sent to the Laboratory Santa Rita, in the city of Mamborê - PR, to determine the adsorbed metals content. The results obtained in the phytoextraction of the samples showed that the species in question is able to absorb the metals in question.

Key Words: Phytoremediation. *Jatropha curcas L.* Heavy Metals.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EXEMPLIFICAÇÃO DOS HORIZONTES DOS SOLOS. ....	14
FIGURA 2: PINHÃO - MANSO LOCALIZADO NO BOSQUE DA UTFPR – CM. ....	22
FIGURA 3: SEMENTES DE PINHÃO - MANSO .....	23
FIGURA 4: MISTURA DE SOLO COM LODO, SUBSTRATO, SOLO UTFPR E COMPOSTOS METÁLICOS. ....	26
FIGURA 5: CROQUI ILUSTRATIVO DO EXPERIMENTO., .....	27
FIGURA 6: VASOS COM TERRA E SEMENTES. ....	27
FIGURA 7: GERMINAÇÃO SEMENTES E DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS. ....	31
FIGURA 8: DESENVOLVIMENTO PLANTAS .....	31
FIGURA 9: MEDIÇÕES DOS BROTOS. ....	32
FIGURA 10: GRÁFICO ALTURA DA PLANTA. ....	33
FIGURA 11: CONTROLE DOS BROTOS APÓS COLHEITA. ....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1	SOLO .....	13
3.2	LODO – Estação de Tratamento de Água. ....	15
3.3	METAIS PESADOS .....	16
3.3.1	Cromo (Cr) .....	18
3.4	LEGISLAÇÃO .....	19
3.4.1	CONAMA 420/09.....	19
3.5	TRATAMENTOS/ TÉCNICAS .....	20
3.5.1	Fitorremediação.....	20
3.5.1.1	Fitoextração .....	21
3.6	ESPÉCIES FITORREMEIADORAS/HIPERACUMULADORAS .....	21
3.6.1	Pinhão - Manso (Jatropha curcas L.).....	22
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
4.1	REALIZAÇÃO EXPERIMENTO .....	24
4.2	ANALISE TECIDO VEGETAL .....	28
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diante de um cenário de constante elevação do número de habitantes no planeta, surgem as necessidades e buscas por melhorias na qualidade de vida. Entretanto, com esse crescimento, muitas vezes sem os cuidados devidos, são gerados impactos ao meio ambiente, isto é, na atmosfera, nos corpos hídricos e/ou no solo.

Sendo assim, buscando uma preservação do ambiente, como um todo, se deu início a elaboração de leis de proteção, e conseqüentemente, a busca incessante por métodos de recuperação das áreas degradadas e por melhorias nas atividades, isto é, em suas tecnologias, amenizando assim a poluição gerada e, conseqüentemente, os possíveis impactos ambientais.

Exemplos, do aumento, desta preocupação em conservar e recuperar o ambiente é a incansável busca por técnicas de tratamento da água, atmosfera e recuperação das florestas. Entretanto, quando se faz necessário, como no caso do Município de Mariana - Mg, a busca para tratamento de solos é dificultosa, isto porque os estudos para esta área levam tempo e algumas técnicas deixam de ser viáveis economicamente, sendo assim se faz necessário a realização de mais pesquisas.

Com isso, o presente estudo busca avaliar se a espécie vegetal Pinhão - Manso (*Jatropha curcas L.*) é apropriada para o tratamento de amostras de solo contendo diferentes concentrações de metais pesados como: Chumbo (Pb) e cromo (Cr).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo avaliará a espécie vegetal Pinhão - Manso (*Jatropha curcas L.*) e conhecer seu respectivo grau de fitoextração, e se a espécie é capaz de biorremediar amostras de solo contendo diferentes concentrações de metais pesados: Chumbo (Pb) e Cromo (Cr).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o potencial de fitoextração do Pinhão - Manso em solos contaminados por alumínio, chumbo e cromo.
- Avaliar os efeitos dos metais pesados na morfologia e na fisiologia das plantas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

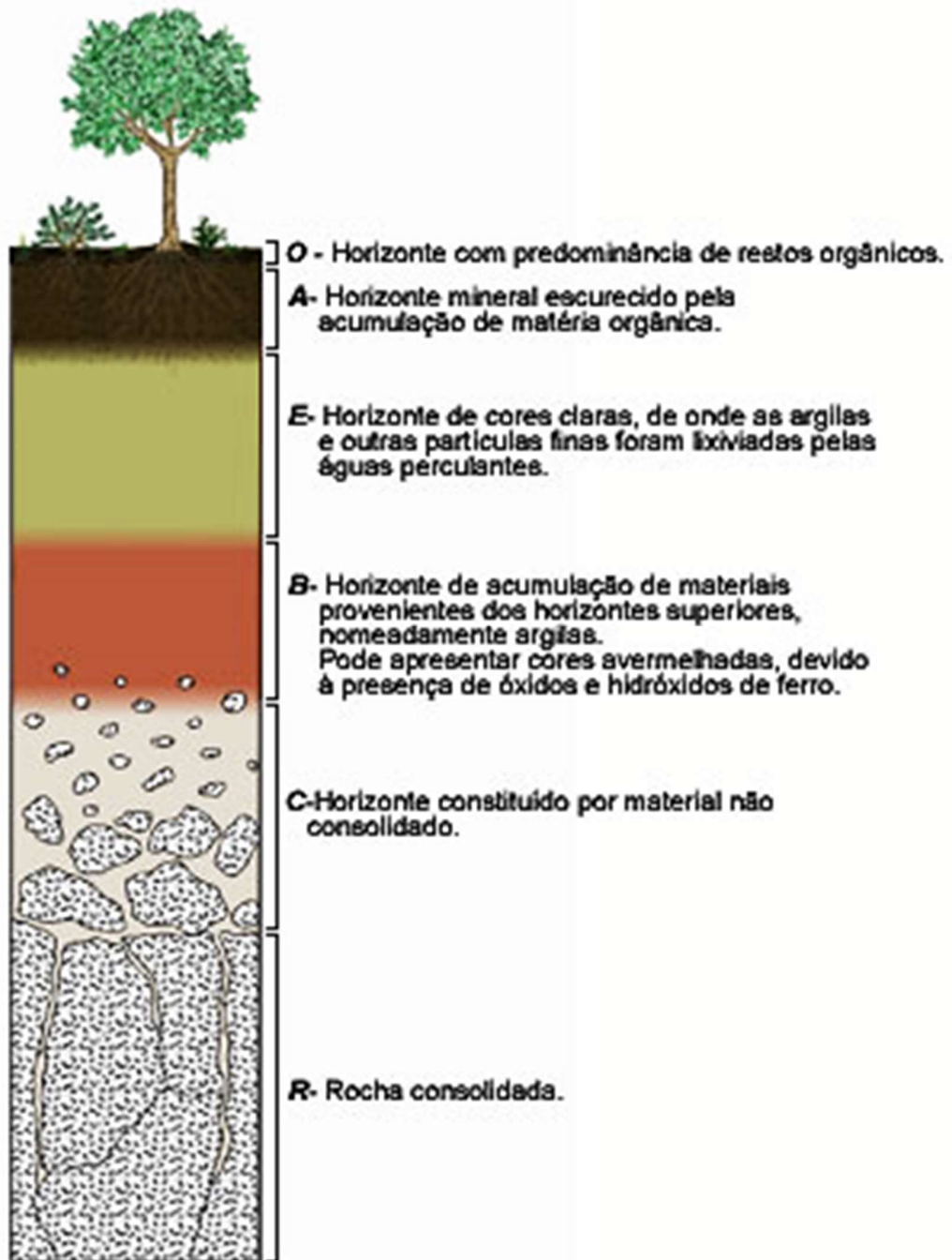
#### 3.1 SOLO

O solo é o produto das interações entre clima, planta, animais, rochas, relevo e tempo (DOKUCHAEV (1883) apud EVTUHOV, 2011). De acordo com Jenny (1941), o solo é um corpo natural, diferenciado em horizontes de minerais e constituintes orgânicos, geralmente não consolidados, de profundidade variável, que difere do material de origem abaixo na morfologia, propriedades e composições físicas e químicas e características biológicas.

Portanto, o solo pode ser classificado em diversos tipos, por exemplo, Latossolo, Nitossolos, Argessosos, entre outros. Munsell em 1994, argumenta que todas as características morfológicas são relevantes para a caracterização e classificação do solo, mas algumas são, particularmente, indispensáveis, por exemplo, as cores úmidas e secas dos horizontes superficiais (H ou O, A e AB) e as cores úmidas dos subsuperficiais, conforme a caderneta de cores Munsell.

Sendo assim, a figura a seguir (FIGURA 1) irá ilustrar tanto a definição de Jenny, como os possíveis horizontes de um solo, e suas denominações, de acordo com Munsell:

Figura 1: Exemplificação dos horizontes dos solos.



Como visto, FIGURA 1, o solo pode apresentar diferentes colorações, isto é, horizontes, como definido por Munsell, isto por causa dos elementos formadores, ou seja, interações entre solo e ambiente, como afirmado por Jenny.

De tal modo, o solo é determinado como um composto trifásico, podendo apresentar substâncias sólidas, líquidas e gasosas. Por causa disto, o solo quando expostos a contaminantes é o mais afetado e de difícil recuperação, permanecendo no local por dezenas ou centenas de anos (GOUVEIA; MACRUZ; ARAÚJO, 2014). E com a sua utilização em centros urbanos, atividades agrícola, pecuária e industrial tem elevado, conseqüentemente, os níveis de contaminação (MALAVOLTA, 1994).

Por tanto, a contaminação do solo, com o passar dos anos, tem se tornado uma das maiores preocupações ambientais, pois uma vez que o solo é contaminado este irá interferir no ambiente global da área afetada, isto é, contaminar as águas superficiais e subterrâneas, a fauna, a vegetação, e dependendo do contaminante até mesmo o ar, podendo assim ocasionar problemas de saúde pública (VIANA, 2011).

### 3.2 LODO – Estação de Tratamento de Água.

Gerado durante o processo de tratamento de água, nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), o lodo é um resíduo formado por todos os contaminantes retirados e incorporados a uma massa líquida (PORTELLA et al., 2003). Sendo assim, este resíduo apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica e de elementos químicos (Alumínio, Ferro, Silício, Titânio, Manganês, entre outros) que quando destinados de forma inadequada podem gerar impactos de ordem ambiental e social (RICHTER, 2001).

Por tanto, o lodo tem se tornado um grande desafio, onde já existe uma série de projetos de pesquisa, que buscam soluções economicamente e ambientalmente favoráveis ou vantajosas para o tratamento, diminuindo a quantidade de lodo gerado e dando uma disposição final, de acordo com caracterização do lodo e o tipo de solo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES, 2005).

### 3.3 METAIS PESADOS

Os metais são caracterizados pelo seu brilho, dureza, cor amarelada a prateada, boa condutividade elétrica, calor, maleabilidade, ductilidade, além de elevados pontos de fusão e ebulição (ATKINS; JONES, 1997). Dentro desta classificação temos os metais pesados, caracterizados por apresentar altos valores no número atômico, geralmente acima de 20, e uma densidade mais elevada do que a dos demais, superior a  $4,0 \text{ g/cm}^3$  (DUFFUS, 2002).

Os metais pesados são componentes naturais dos solos, uma vez que fazem parte da estrutura cristalina dos minerais que compõem as rochas, principal material de origem dos solos (ALLOWAY, 1993). Muitos destes metais apresentam importância em diversos meios, sendo fisiologicamente essenciais para plantas e animais, contribuindo na saúde humana e na produtividade agrícola.

Por exemplo, o cobre (Cu), essencial para a formação de melanina nas plantas e pigmentação da pele dos animais, e o zinco (Zn), presente na síntese do DNA e RNA em plantas e animais, entretanto, estes metais são considerados poluentes no ecossistema quando encontrados em grandes concentrações (JUNIOR et al., 2000). Benavides et al em 2005 diz que a fitotoxicidade depende da concentração, período de exposição ao metal, da espécie e órgão ou tecido da planta, provocando problemas no crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

As contaminações mais frequentes por metais pesados ocorrem pelos seguintes elementos: cobre ferro, manganês, molibdênio, zinco, cobalto, níquel, vanádio, alumínio, prata, cádmio, cromo, mercúrio e chumbo (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2014).

#### Chumbo (Pb)

À temperatura ambiente encontra-se no estado sólido com coloração cinza azulada, maleável, baixo ponto de fusão ( $327,4^\circ\text{C}$ ), é mal condutor de eletricidade, seu número atômico é 82, e sua massa atômica é de  $207,2 \text{ g/mol}$ .



Encontrado com abundância na crosta terrestre a partir do minério galena (PbS) que possui 86% de Pb em sua composição (RUPPENTHAL, 2013). O minério de galena pode ser encontrado nas rochas ígneas e metamórficas em regionais com variações de temperaturas entre baixas e medias e hidrotermais, isto é, regiões onde há fissura na crosta a partir da qual emerge um fluido geotermal (CETEM, 2001).

Pelo fato da Galena ser encontra por todo o mundo, o chumbo se tornou o metal não ferroso mais usado na indústria. Sua produção mundial é de aproximadamente seis milhões de toneladas por ano. As principais fontes primárias de chumbo são os fertilizantes, calcários, pesticidas, irrigação e lodo de esgoto. As fontes secundárias desse metal são as descargas de automóveis, fundições, incineração de resíduos, áreas de mineração, desgaste de pneus, disposição de lixo, partículas suspensas no ar e a queima de carvão (ANDRADE, MAHLER, TAVARES, 2007).

O chumbo é o maior contaminante de solo (GRATÃO et al., 2005) e o maior problema ambiental diante do mundo moderno (SHEN et al., 2002). Lasat em 2002 diz que o metal pesado oferece o maior risco de envenenamento aos seres humanos, especialmente às crianças.

A doença causada pela intoxicação por chumbo é denominada Saturnismo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006). De acordo com Paoliello et al, em 2007, o chumbo inibe a capacidade do organismo de produzir hemoglobina, afetando várias reações enzimáticas, críticas para a síntese da heme. Além de que, a absorção de chumbo pode induzir à redução do desenvolvimento cognitivo e do desempenho intelectual das crianças e aumentar a pressão sanguínea e as doenças cardiovasculares nos adultos (ROCHA, 2009).

Em relação as plantas, o Pb absorvido pode induzir diversas alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, tais como: inibição da germinação de sementes, diminuição do crescimento, redução da produção de clorofilas, peroxidação lipídica, estresse oxidativo, danos ao material genético e alterações da atividade enzimática (SHARMA & DUBEY, 2005), inibição ou redução da germinação de sementes (RULEY et al., 2006), inibição da fotossíntese, e modificação de características anatômicas (PEREIRA et al., 2013), afeta a estrutura e a permeabilidade da membrana (WÓJCIK & TUKIENDORF, 2014), Induzir o aumento

do número de estômatos entre outros (PEREIRA et al., 2013) e pode causar escurecimento do sistema radicular, altera o balanço hídrico e hormonal (ROMEIRO et al., 2007)

No ambiente, quando introduzido na matriz do solo, esse metal é de difícil remoção. No solo, o chumbo liga-se às partículas por meio de mecanismos de adsorção, troca catiônica, precipitação e complexação com matéria orgânica sorvida. Quando dissolvido na água e na forma de íon trocável, fica disponível a absorção por plantas (ANDRADE, MAHLER, TAVARES, 2007).

### 3.3.1 Cromo (Cr)

O cromo é um metal de transição, duro, frágil, de coloração cinza semelhante ao aço, com forma cúbica cristalina, sem odor e muito resistente à corrosão. O cromo metálico não existe livre na natureza, somente na forma de seus compostos. O cromo é obtido a partir da cromita,  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ , principal minério de cromo, aquecendo-a em presença de alumínio ou silício (RUPPENTHAL, 2013).

A cromita é usada tanto como mineral metálico quanto não-metálico, sendo considerado um dos mais importantes minerais industriais em todo o mundo. Os minérios de cromita são empregados como fonte de cromo para as indústrias metalúrgicas, química, de refratários e, mais recentemente, como areia nos processos de fundição. A indústria metalúrgica desponta como o maior consumidor dos produtos de cromita, comparada às demais (CETEM, 2008)

Ruppenthal, em 2013, afirma que o cromo, apesar de ser um mineral essencial ao homem, ele pode ser considerado tóxico dependendo da forma em que é encontrado, ou seja, sua forma oxidada. Por exemplo, no caso do cromo metálico e dos compostos de cromo III, estes não representam um risco importante para a saúde humana, por outro lado, os compostos de cromo VI são tóxicos quando ingeridos, podendo ser letal com o consumo de alguns gramas, quando não letal o cromo VI é carcinogênico. Além de causar problemas cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos (BOETCHER, 2008).

As presenças de quantidades prejudiciais para as plantas podem resultar em danos como clorose, redução de crescimento foliar e radicular e morte (MERTZ, 1969, CASTILHO et al, 2001). De um modo geral, o cromo absorvido pelas plantas é acumulado nas raízes, formando barreiras que diminuem a sua translocação para a parte aérea das plantas (LOSI et al., 1994).

O cromo é caracterizado pela sua massa atômica de 51,9961 g/mol, e seu número atômico é 24 (RUPPENTHAL, 2013).

### 3.4 LEGISLAÇÃO

A resolução nº 001 do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (1988) estabelece que toda atividade poluidora, deve se responsabilizar em criar medidas mitigadoras dos impactos além de recuperar a área ambientalmente degradada.

De acordo com Santos (2005), em alguns países, como o Brasil, não há um controle e fiscalização adequada perante áreas degradadas, e tampouco há conhecimento e estudos necessários para o entendimento dos impactos decorrentes dos metais pesados sobre o ecossistema e formas de recuperação das áreas contaminadas.

#### 3.4.1 CONAMA 420/09

Considerando que áreas contaminadas podem configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente e, objetivando pôr em prática a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, impõe ao poluidor e ao degradador a obrigação de recuperar e/ou indenizar danos causados, foi se elaborado a Resolução CONAMA 420/09.

Está dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelecendo diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

### 3.5 TRATAMENTOS/ TÉCNICAS

Para o tratamento do solo contaminado existem técnicas tais como escavações, aterramento de solo, tratamento térmico e atenuação natural. Além dessas técnicas, há outra denominada imobilização de metais pesados, a partir de adição de amenizantes químicos ou orgânicos, que além de imobilizar pode também tornar os contaminantes menos disponíveis no solo (GARBISCU; ALKORTA, 2001).

Entretanto, essas alternativas demandam muito tempo e grande disponibilidade de recursos financeiros. Com isso pesquisadores começaram a procurar novas maneiras que fossem de baixo custo e de fácil aplicação, entre elas encontra-se a fitorremediação (VIANA, 2011).

#### 3.5.1 Fitorremediação

A fitorremediação consiste em utilizar plantas para reduzir os teores de contaminantes a níveis seguros, visando à proteção à saúde humana, flora e fauna de todo um ecossistema. Este método apresenta grande versatilidade podendo ser utilizado no solo, água e ar (ANDRADE, MAHLER, TAVARES, 2007).

As plantas podem remover compostos químicos do solo por meio das raízes. E uma vez que o poluente entra no sistema interno das plantas, este pode ficar armazenado nas raízes, caule e folhas, e, por conseguinte deve se realizar a destinação final adequada destas partes, dependendo do tipo de metal e de quais produtos a planta oferece.

Além disso, as plantas podem causar mudanças nas características químicas do poluente, fazendo com que este apresente posteriormente um baixo perigo. Ainda, os poluentes podem ser também transformados em gases através do processo de respiração das plantas (ITRC, 2001).

A fitorremediação é subdividida em diversas técnicas, entre elas: Fitoextração, Fitoestabilização, Fitoestimulação, Fitovolatização, Fitodegradação, Rizofiltração, Barreiras Hidráulicas e Açudes Artificiais (ITRC, 2001).

### 3.5.1.1 Fitoextração

Geralmente a fitoextração é utilizada para remediar metais, e é definida pela extração dos poluentes do solo, onde os metais acumulam nos tecidos das plantas. Essas plantas, são geralmente espécies hiperacumuladoras, isto é, com capacidade de acumular elementos em níveis até cem vezes maiores que outras espécies, crescendo sob as mesmas condições (LAMEGO; VIDAL, 2007).

O destino do material vegetal produzido dependerá da possibilidade ou não de seu aproveitamento, sendo decidido de acordo com a espécie vegetal cultivada, sua capacidade de bioacúmulo e o risco ambiental representado. (ANDRADE, MAHLER, TAVARES, 2007).

## 3.6 ESPÉCIES FITORREMEIADORAS/HIPERACUMULADORAS

É desejável que as plantas que apresentem potencial para fitorremediação possuam algumas características que devem ser usadas como indicativos para seleção (NEWMAN, 2004).

Por exemplo, uma boa espécie para fitoextração deve ser hiperacumuladora, isto é, deve possuir as seguintes características: alta taxa de acumulação mesmo em baixas concentrações do contaminante, acumular diversos contaminantes, alta taxa de crescimento e produção de biomassa, resistência a pragas e doenças e tolerância ao contaminante (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

Em 2000, Khan et al. afirmaram em seu estudo que já se tem identificado em torno de 400 plantas hiperacumuladoras, a maioria encontrada em áreas contaminadas da Europa, Estados Unidos, Nova Zelândia e Austrália. As primeiras plantas hiperacumuladoras caracterizadas eram membras das famílias das Brassicaceae e Fabaceae em clima temperado e nos trópicos a família das Euphorbiaceae (GARBISSU; ALKORTA, 2001).

Plantas hiperacumuladoras também são encontradas nas famílias Asteraceae, Lamiaceae ou Scrophulariaceae. Como por exemplo: mostarda indiana (*Brassica*

*Juncea sp.*), girassol (*Helianthus Annuus*) e tabaco (*Nicotiniana Tabacum*) (AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS - USEPA, 2000).

### 3.6.1 Pinhão - Manso (*Jatropha curcas L.*)

O Pinhão - Manso (*Jatropha curcas L.*), FIGURA 2, é uma árvore da família Euphorbiaceae. Esta espécie é dada como uma cultura rústica, exigente em insolação e resistente a seca. Ela sobrevive bem em condições de solos marginais de baixa fertilidade natural se adaptando às mais diversas condições edafoclimáticas (ARRUDA et al., 2004).

Essa espécie, vem sendo plantada para promover a conservação do solo, onde o hábito caducifólio faz com que se forme uma camada de serapilheira sob a copa, reduzindo assim erosão e a perda de água por evaporação (SATURNINO et al., 2005).

**Figura 2: Pinhão - Manso localizado no bosque da UTFPR – CM.**



**Fonte: Autoria própria**

Devido aos princípios tóxicos presentes em sua estrutura, o Pinhão - Manso não é comestível (ARRUDA et al., 2004). Entretanto, através de suas sementes, FIGURA 3, é produzido óleo utilizado para a produção de sabão, envernizastes de móveis e, principal foco, biodiesel (SATURNINO et al., 2005).

**Figura 3: Sementes de Pinhão - Manso**



Fonte: Autoria própria

#### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido nas dependências do laboratório de Bioprocessos, E004, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Sendo assim, foi utilizada uma espécie já referenciada, em estudos realizados por Chaves et al. em 2009 e por Gouveia et al. em 2014, como hiperacumuladora, o Pinhão - Manso (*Jatropha curcas L.*). Para a realização do experimento foi empregado diferentes concentrações de metais pesados, e visando um melhor resultado foi realizado em triplicata.

Os metais, em questão, a serem analisados no estudo são: o Chumbo, adicionado através do acetato de chumbo,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ , e Cromo, adicionado através do dicromato de potássio,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

No referido experimento, foi utilizado o solo de origem do Campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Este é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico. Segundo a Embrapa, este possui coloração vermelha acentuada devido ao alto teor de óxidos de ferro.

Substrato agrícola do fabricante Humusfértil, contém em sua composição casca de pinus, areia para substrato, vermicompostagem e vermicolite. Na tabela 1 temos as garantias dadas pelo fabricante.

Tabela 1 – Garantias do substrato agrícola.

GARANTIAS				
Condutividade Elétrica (dS/m)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	pH	Umidade Máxima (% peso/peso)	Capacidade Retenção de Água (% peso/peso)
1,5 ± 0,3	480	6 ± 0,5	60	60

E o lodo, este proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Campo Mourão. No caso, a empresa responsável pelo tratamento da água é a SANEPAR, e através de conversas com os técnicos do local, foi indicado a utilização de sulfato de alumínio como coagulante.

#### 4.1 REALIZAÇÃO EXPERIMENTO

Para plantio utilizou como vasos recipientes plásticos de polietileno, volume de 4,00 litros, devidamente identificados. Antes de se dar início ao experimento, todos os baldes foram higienizados e sanitizados com auxílio de álcool 70%. Com intuito de evitar lixiviação dos metais, não foi realizado furos nos vasos.

Como supracitado, foi elaborado através de uma mistura de três componentes, estes sendo: solo da UTFPR - CM, Lodo da ETA - CM e o Substrato Agrícola, formando assim o substrato para desenvolvimento da planta. Para realização desta mistura foi utilizado diferentes proporções de cada componente, fato explicado pela baixa quantidade fornecida, no caso do Lodo, além de que como citado na revisão teórica, o lodo é um resíduo gerado através de contaminantes retirados durante o



tratamento de água, sendo assim a alta quantidade poderia atrapalhar no desenvolvimento da planta.

Além do mais, o presente trabalho visa o desenvolvimento da planta e tratamento do solo da maneira mais natural possível, mostrando assim que a utilização da técnica independe de grandes cuidados antes e durante o desenvolvimento, recuperando assim o ambiente naturalmente.

Sendo assim, foi adicionado nos baldes 1,625 Kg da mistura, constituindo de 0,125 Kg de lodo, 0,500 Kg de substrato agrícola e 1,00 Kg da terra do campus. Ressalta-se que os valores das concentrações dos metais pesados permitido no solo são calculadas em relação a solos secos, então antes da pesagem os solos foram colocados em estufa, a 65 °C, em um período de 48 horas, para retirada da umidade antes de ser realizado a mistura.

Após a realização da mistura, foi separado uma quantia, a qual destinou-se para identificar as concentrações dos metais já presentes, pois como referenciado, tanto o solo da UTFPR – CM como o Lodo podem conter em suas composições esses metais. Sendo assim, através de análises químicas da mistura, estas realizadas no Laboratório Santa Rita, identificou-se as concentrações dos metais. Sendo assim, foi constatado a presença de 10,44 mg/Kg de Chumbo, 50,57 mg/Kg de Cromo e 202.222,6 mg/ Kg de Alumínio.

O solo não recebeu qualquer tratamento corretivo, isto é, calagem ou adubação, para permitir estudos em ambientes pouco favoráveis ao desenvolvimento da planta, como os encontrados em inúmeros locais, nas quais não há atividade agrícola, por exemplo.

Nas misturas realizadas para plantio, foi adicionado diferentes concentrações dos metais, como base para os valores foi utilizado a Resolução CONAMA 420/09. Nesta resolução se tem os critérios e valores guias de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Sendo assim:

SUBSTANCIAS	PREVENÇÃO	INVESTIGAÇÃO	
		Agrícola APMax	Residencial
Chumbo (Pb)	72	180	300
Cromo (Cr)	75	175	300

\*Solo (mg.kg<sup>-1</sup> de peso seco)

A quantidade de sais necessárias para atingir a concentração por quilo de solo foi determinado por cálculos estequiométricas. Em seguida, realizou-se a pesagem dos sais com ajuda de balança analítica de precisão Celtac FA 2014N, as massas pesadas foram de: 0,184 g; 0,460 g; 0,766 g, para Acetado de Chumbo e 0,345 g, 0,689 g, 1,378 g para o Dicromato de Potássio misturadas a 1.625 kg de extrato de solo.

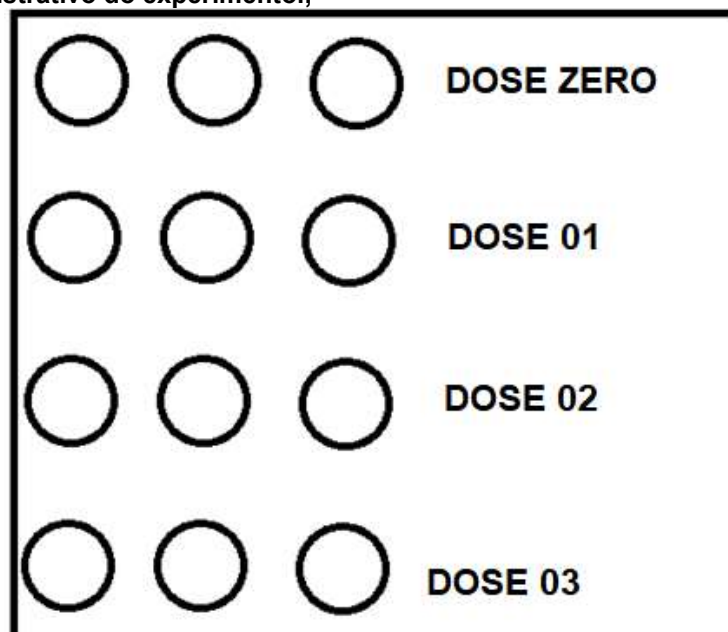
**Figura 4: Mistura de solo com Lodo, substrato, solo UTFPR e compostos metálicos.**



Fonte: Autoria própria

Após a montagem dos todos dos vasos foi plantado três sementes do Pinhão - Manso em cada e realizado a rega com 100 mL de água da torneira, para que então se desse início a parte pratica do estudo. Deste modo, sendo 4 doses e 3 repetições o experimento foi realizado em doze vasos, segue abaixo um esquema ilustrativo:

Figura 5: Croqui ilustrativo do experimento.,



Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar que para os vasos controles não foi adicionado os sais metálicos, porém estes receberam Lodo na composição do solo.

Figura 6: Vasos com terra e sementes.



Fonte: Autoria própria

O período de monitoramento, após o plantio, foi de 54 dias, tendo o início no dia 02/02/2017 e sendo finalizado na colheita das plantas, dia 28/03/2017. Durante esse período as plantas receberam a cada 2 dias 100 mL de água da torneira. Este período de espera entre rega das plantas foi decidido por dois fatos: primeiro que pela falta de furos nos baldes o excesso de água não iria ser retirado, podendo assim o excesso de umidade começar a atrapalhar o desenvolvimento da planta e até mesmo ocasionar a aparição de fungos. 2Para medir o volume a ser adicionado foi utilizado uma proveta.

Além da rega do experimento, durante os 54 dias foi acompanhado o desenvolvimento das plantas. Dentro deste monitoramento foi observado os seguintes itens: Germinação das sementes, isto é, número e época da aparição dos brotos na superfície; controle do desenvolvimento da planta, onde foi contado o número de brotos, a altura da parte aérea da planta, quantidade de folhas, coloração e formato das folhas.

Após o período de desenvolvimento, isto é, no dia 29/03/2017, foi realizado a colheita do experimento, nesta etapa os brotos foram retirados cuidadosamente com auxílio de colheres. Após a retirada era contado o número de brotos de acordo com a concentração em que estavam, a quantidade de folhas e a altura de cada broto. Também foi dada atenção em outros fatores, como na coloração das raízes e nas formas que apresentavam.

Em seguida, as plantas foram acondicionadas em envelopes de papeis Kraft e secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura entre 65 e 75 °C por 48 horas. Após secas, o material vegetal foi acondicionado em saco plástico, vedado e enviado até o Laboratório para análise.

#### 4.2 ANALISE TECIDO VEGETAL

Como supracitado, as amostras após secas foram enviadas ao Laboratório Santa Rita, situado no Município de Mamborê – PR. A escolha de enviar as amostras para laboratórios terceirizados ao invés de realizar nas dependências do Campus vem através de que, infelizmente, o campus não possui matérias para análise do chumbo na planta.

Sendo assim, a metodologia utilizada foi a US-EPA SW 846 – Método 3050, conhecido como digestão ácida. Este método consiste na utilização do ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Após digerida o produto, material vegetal, é encaminhado ao Espectrofotômetro de absorção atômica para leitura da concentração do contaminante que cada amostra da espécie armazenou no seu tecido vegetal.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que cumpra o máximo possível o objetivo do trabalho, isto é, identificar se o Pinhão – Manso é uma espécie fitorremediadora, as análises foram baseadas na afirmação de Accioly e Siqueira em 2000. Onde, em seus estudos eles dizem que uma espécie fitorremediadora deve ter as seguintes características:

- Alta taxa de crescimento e produção de biomassa;
- Resistência a pragas e doenças;
- Tolerância ao contaminante;
- Alta taxa de acumulação;
- Acumular diversos contaminantes.

Primeiramente, antes que seja realizado as comparações dos parâmetros citados acima com os obtidos com o experimento, é de grande importância mencionar que Pinhão – Manso mostrou que consegue se desenvolver em áreas com o solo contaminado por metais pesados, sendo assim uma possível planta fitorremediadora. É importante notificar que as sementes tiveram um tempo médio de germinação de 10 dias, isto é, começaram a surgir na superfície. Pelo fato do tempo ter sido parecido tanto para o controle como para os com solo contaminado, é provável que este seja o período de germinação do Pinhão - Manso.

**Figura 7: Germinação sementes e desenvolvimento das plantas.**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 8: Desenvolvimento plantas**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 9: medições dos brotos.**

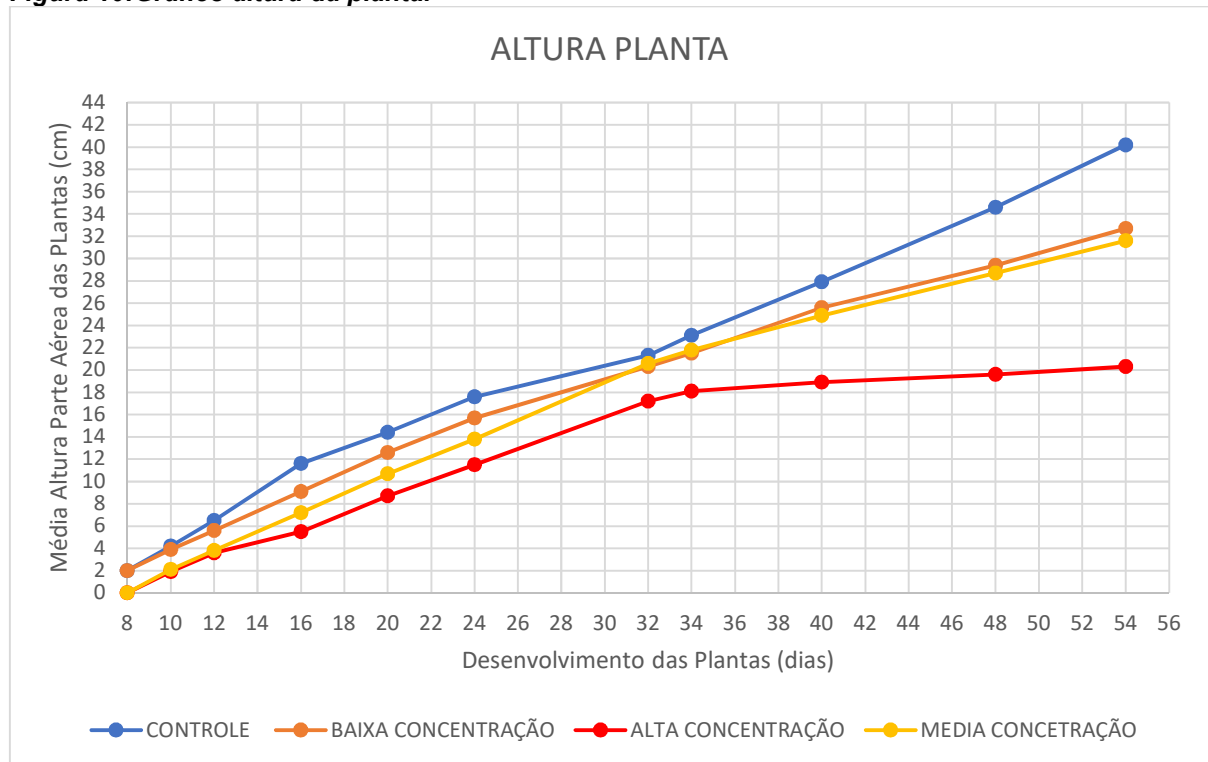


**Fonte: Autoria própria**

Logo em seguida, após a germinação, deu início a análise do desenvolvimento da planta. Nesta etapa foi observado tanto o desenvolvimento da planta, e assim a taxa de crescimento da planta foi de, aproximadamente, 1,00 cm; 0,80 cm; 0,80 cm e 0,60 cm nos primeiros dias, do 10º dia até o 34º dia, e, aproximadamente, 0,70 cm; 0,50 cm; 0,50 cm e 0,20 cm nos seguintes dias, isto para, respectivamente, os vasos controle, concentrações baixa, média e alta, FIGURA 12.



**Figura 10: Gráfico altura da planta.**



Pode-se perceber que as plantas em seus primeiros 24 dias, teve uma taxa de crescimento maior, também percebe que, retirando o vaso com maior concentração, o desenvolvimento das plantas foi parecido, onde grande parte dos brotos no 34º dia apresentavam altura em torno de 22,00 cm. Outro fato importante a ser destacado, é que por um dos brotos, dose 3, 300 mg.kg<sup>-1</sup>, acabou morrendo, o que explica a queda acentuada da altura para este.

Em questão das diagnoses visuais, identificadas durante o processo de desenvolvimento, estas começaram a apresentar mais visivelmente após o 28º dia, tanto na questão do crescimento que reduziu, como já mostrado acima, como, após este período, ficou mais aparente o amarelado nas folhas dos brotos, para todas as concentrações, e deu-se início a queda de folhas, para as concentrações de 150 e 300 mg.kg<sup>-1</sup>, esses efeitos podem ser ocasionados pelos metais presentes no solo, uma vez que, por exemplo, o chumbo que já referenciado por bloquear a fotossíntese da planta, reduzindo a produção de clorofilas.

Vale ressaltar, que para os vasos de maior concentração, desde o início o Pinhão - Manso apresentou dificuldades em se desenvolver, mostrando uma tardia germinação, baixa taxa de crescimento, maior número de folhas amareladas e que caíram, além de que, durante a experimento foi a única apresentar mortalidade após a germinação. Efeitos esses ditos por Sharma e Dubey, 2005; Ruley et al., 2006; e Pereira et al., 2013, foram observadas em relação ao chumbo, e por Mertz, 1969, em relação ao cromo.

Outras anomalias, foram notadas em todas as amostras incluindo as dos controles, puderam ser identificadas durante a retirada das plantas dos vasos. Percebeu-se que as raízes apresentaram o efeito denominado *cachimbamento*, o qual ocorre quando as raízes se curvam como um cachimbo, e o mal desenvolvimento das raízes primárias, onde estas permaneceram grossas e apresentaram descoloração. Estes impactos nas raízes são relacionados a taxa de chumbo, e o fato de os brotos dos controles também terem exibido os mesmos impactos pode ser explicado pela utilização do lodo da estação de água.

Também deve se levar em conta que pelo experimento ter sido realizado em vasos, isto pode ter sido um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das raízes.

**Figura 11: controle dos brotos após colheita.**



Fonte: Autoria própria

Entretanto, pelo fato do Pinhão - Manso ter se desenvolvido bem nas outras concentrações, aparentemente, igual as sementes plantadas no solo sem introdução de metais, e que mesmo apresentando uma certa dificuldade conseguiu se desenvolver na maior concentração, pode afirmar que a espécie em questão é tolerante a contaminação, em específico, para estes contaminantes.

Outro ponto em que a espécie estudada se enquadra como planta fitorremediadora é na questão da alta produção de biomassa, fato afirmado tanto pela afirmação de Saturnino et al. em seus estudos “Cultura do Pinhão - Manso (*Jatropha curcas* L.).”. Porém, não pode afirmar sobre a resistência do Pinhão – Manso sobre pragas e doenças,

uma vez que não foi realizado nenhum procedimento para avaliar tal item e nem encontrado nenhum referencial teórico sobre.

Sendo assim, para a questão de tolerância aos metais utilizados, o Pinhão - Manso, apresentou ótimos resultados como podemos ver de acordo com as informações apresentadas acima. Todavia, para que seja considerado espécie fitorremediadora é necessário que a planta consiga absorver os metais presentes, para isto segue a baixo os resultados obtidos com as análises laboratoriais dos brotos, tabela 2.

Tabela 2: Concentração dos metais pesados na biomassa seca, em função do tratamento.

Amostras		Metais Pesados (mg.kg <sup>-1</sup> )	
		Cromo	Chumbo
Dose 03	1	12,67	15,75
	2	25,03	23,03
	3	20,8	23,20
Dose 02	4	27,46	14,30
	5	18,12	14,70
	6	4,91	9,78
Dose 01	7	5,45	4,40
	8	0,08	0,50
	9	10,21	7,13
Dose 00 (Controles)	10	8,41	1,80
	11	NO	NO
	12	10,95	1,33

NO - Não Obtido.

Primeiramente, pode-se observar que o tratamento controle apresentou teores de Pb e Cr no tecido vegetal devido ao solo utilizado no experimento, provavelmente ocasionado pela adição do Lodo da ETA, apresentando concentrações iniciais dos dois metais. Sendo assim, podemos dizer o Pinhão - Manso consegue absorver os metais pesados dos solos e, inclusive, mostrando potencialmente hábil a acumular diferentes tipos de metais, no qual se faz necessário novos estudos com outros metais pesados. Esta absorção pode ser dada pelo pH do solo, uma vez que o pH exerce o efeito na disponibilidade dos metais no solo. Isto é, em solos ácidos a concentração de íons metálicos na solução do solo aumenta, facilitando sua absorção pelas plantas.

Como visto, tabela 2, uma das amostras do controle, número 11, não teve valores obtidos, isto dado pelo fato que este foi o único vaso a não apresentar germinação de nenhuma das sementes. De qualquer forma, para facilitar a análise dos valores, foi realizado a média destes valores de acordo com as concentrações, tabela 3.

Tabela 3: Média das concentrações na biomassa seca, em função do tratamento.

<b>Amostras</b>	<b>Metais Pesados (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	
	<b>Cromo</b>	<b>Chumbo</b>
<b>Concentrações Altas</b>	19,50	20,66
<b>Concentrações Médias</b>	16,83	12,93
<b>Concentrações Baixas</b>	5,25	4,01
<b>Controles</b>	9,68	1,56

Por último, e mais importante, podemos notar, apesar da incoerência dos valores do controle, é que quanto mais alto for a concentração encontrada no solo maior será a absorção dos contaminantes pela planta. Precisamos levar em conta possíveis erros laboratoriais e qualidade das sementes, uma vez que estas foram retiradas do pé e plantadas sem nenhum tipo de tratamento.

## 6 CONCLUSÃO

As plantas em todos os tratamentos, apesar de terem altura menor do que o controle, mostraram possuir capacidade de armazenar Pb e Cr, o que pode tornar essa espécie de grande importância para o programa de fitorremediação de áreas contaminadas por metais pesados.

Entretanto, foi perceptível uma leve descoloração e amarelado das folhas nas amostras plantadas em concentrações elevadas dos metais pesados. Também não se deve descartar a possibilidade que com o maior tempo de exposição da planta ao solo contaminado, esta poderia apresentar diferentes características físicas. Outro fator a citar é que, possivelmente, as plantas poderiam começar a apresentar anomalias causadas pelos recipientes de polipropileno, pelo fato que futuramente as plantas não teriam espaço suficiente para o crescimento das raízes.

É importante ressaltar, que o desenvolvimento da espécie ocorreu pelo correto manejo, isto é, pelo período de insolação, quantidade de água e período da realização do estudo, uma vez que, após tentativa de refazer o experimento, as sementes plantadas em épocas mais frias do ano, entre junho e setembro, estas entraram em estado de dormência e não germinaram.

Sendo assim, devido aos resultados obtidos com a realização deste trabalho, conclui-se que o Pinhão - Manso (*Jatropha curcas L.*) pode ser utilizado na fitorremediação para os solos contaminados por chumbo e cromo. Todavia, se faz necessários novos estudos comparativos e até mesmo com outros metais pesados

## REFERÊNCIAS

1. ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo, 2000. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,. v. 1. p. 299-352, 2000.
2. ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils, 1990. New York; Wiley, 339p., 1990.
3. ALVES, T. V. B.. BUARQUE, C. D. Estudos de complexos binários e ternários de alumínio (III) com aminoácidos e ligantes fosfatados, 2014. tese de Doutorado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 287p., 2014.
4. ANDRADE, J. C. M; TAVARES, S. R. L; MAHLER, C. F. Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental., 2007. São Paulo. Oficina de Textos. 176p., 2007.
5. ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino, 2004. Rev. bras. ol. fibros., Campina Grande, v.8, n.1, p.789-799, jan. -abr. 2004.
6. ASSUNÇÃO, S. J. R. Seleção de plantas para fitorremediação de chumbo, cádmio e zinco de uma área contaminada na Bacia do Rio Subaé. 2012. Dissertação (Mestrado), Cruz das Almas, BA, 2012.
7. ATKINS, P. W.; Jones, L. C. Molecules, matter and change, 1997. 3 ed., Freeman, V. H., New York. 1997.
8. BENAVIDES, M. P.; GALLEGOS, S. M.; TOMARO, M. L. Cadmium toxicity in plants, 2005. Brazilian Journal Plant Physiology, v.17, p.21-34. 2005



9. BOETCHER, M. L. Cromo: aspectos toxicológicos e ocupacionais. 2008. Trabalho de conclusão de curso. Ciências Farmacêuticas, FEEVALE, Novo Hamburgo. 2008.
10. BRASIL. Ministerio do Meio Ambiente. **CONAMA 420**, resolução nº420, de 28 de dezembro de 2009.
11. CAMARGO, C. E. O. Melhoramento do trigo, Hereditariedade da tolerância à toxicidade ao alumínio. 1981. *Bragantia*, Campinas, v. 40, n. 2, p. 33-45, 1981.
12. CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY Assessment Criteria for Determining Environmental Safety of Plants with Novel Traits, 2012. Biology Document BIO2007-01: A companion document to the Directive 94-08 (Dir94-08), 2012. Acessado em: <http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/applicants/directive-9408/biology-documents/brassica-junceae/eng/1330727837568/1330727899677>.
13. CASTILHO, S. M. A. Imagem corporal, 2001. 1ª. ed. Santo André, SP: ESETec Editores Associados, 2001.
14. CETEM. Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil., 2001. Sampaio, João Alves coord. Centro de Tecnologia Mineral- CETEM, Rio de Janeiro, 2001.
15. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, Valores orientadores para solo e água subterrânea. 2014. Publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), ed. nº 124 (36) do dia 21/02/2014, p: 53. Acessado em: [https://www.imprensaoficial.com.br/DO/BuscaDO2001Documento\\_11\\_4.aspx?link=/2014/executivo%2520secao%2520i/fevereiro/21/pag\\_0053\\_AQ9448JS4VBDIe1KOELIC1L4BSV.pdf&pagina=53&data=21/02/2014&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100053](https://www.imprensaoficial.com.br/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2014/executivo%2520secao%2520i/fevereiro/21/pag_0053_AQ9448JS4VBDIe1KOELIC1L4BSV.pdf&pagina=53&data=21/02/2014&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100053).
16. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande/MS.

17. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
18. DINARDI A. L.; FORMAGI V. M.; CONEGLIAN C. M. R.; de BRITO N.N.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S.; PELEGRINI R. (2003). Fitorremediação. III Fórum de Estudos Contábeis. Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro, SP.
19. DUFFUS, J. H. —Heavy metalsII—a meaningless term, 2002. IUPAC, Pure and Applied Chemistry 74, p.793–807, 2002.
20. EVTUHOV, Catherine. Portrait of a Russian Province: Economy, society, and civilization in nineteenth-century Nizhnii Novgorod, 2011. Acessado em: [https://books.google.com.br/books?id=59t8MT4H9rUC&pg=PA256&lp g=PA256&dq=.The+Terms+Chernozem,+Podzol,+etc.,+entered+the+international+scientific+vocabulary+through+Dokuchaev+work.&source=bl&ots=f4iN\\_JrJC1&sig=pgVTyxQQn\\_u9snRIJI3aVwQOI04&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjeycukn\\_HMAhVVBGpAKHXD2ALIQ6AEIH zAA#v=onepage&q=The%20Terms%20Chernozem%2C%20Podzol%2C%20etc.%2C%20entered%20the%20international%20scientific%20vocabulary%20through%20Dokuchaev%20work.&f=false](https://books.google.com.br/books?id=59t8MT4H9rUC&pg=PA256&lp g=PA256&dq=.The+Terms+Chernozem,+Podzol,+etc.,+entered+the+international+scientific+vocabulary+through+Dokuchaev+work.&source=bl&ots=f4iN_JrJC1&sig=pgVTyxQQn_u9snRIJI3aVwQOI04&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjeycukn_HMAhVVBGpAKHXD2ALIQ6AEIH zAA#v=onepage&q=The%20Terms%20Chernozem%2C%20Podzol%2C%20etc.%2C%20entered%20the%20international%20scientific%20vocabulary%20through%20Dokuchaev%20work.&f=false).
21. GARBISCU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment, 2001. Bio resource Technology, Essex, v. 77, p. 229-236, 2001.
22. GOUVEIA, A.de F.; MACRUZ, P. D.; ARAÚJO, J. H. B. de; FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM CHUMBO UTILIZANDO *Jatropha curcas* L. 2014, p. 8213-8219. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeq20141105-20957-149786

23. GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N.V.; CARDOSO, P. F.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R. A. A. Phytoremediation: green technology for the clean-up of toxic metals in the environment. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campinas, v.17, n.1, p.53-64, 2005.
24. Interstate Technology & Regulatory Council - ITRC, Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document, 2001. Technical/Regulatory Guidelines. Prepared by Interstate Technology and Regulatory Interstate Technology & Regulatory Council - ITRC. Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, 2009 Revised. PHYTO-3. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Phytotechnologies Team, Tech Reg Update. [www.itrcweb.org](http://www.itrcweb.org)
25. JENNY, H. *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*, 1941.
26. JUNIOR, A. C. G.; LUCHESE, E. B.; LENZI, E. Avaliação da Fitodisponibilidade de Cádmio, Chumbo e Crômio, em Soja Cultivada em Latossolo Vermelho Escuro Tratado com Fertilizantes Comerciais *Química Nova*. V. 23, p. 173-177, 2000.
27. KHAN, A.G ; KUEK, C.; CHAUDHRY, T.M; KHOO, C. S.; HAYES, W.J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land emediation. *Chemosphere*, v. 21, p. 197-207, 2000.
28. KRESKI, D.; YOKEL, R. A.; NIEBOER, D.; COHEN, J.; HARRY, J.; KACEW, S.; LINDSAY, J.; Mahfouz, A. M.; Rondeau, V. Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *Journal of toxicology and environmental health, Part B, Critical reviews*, V.10, p. 1- 269, 2011.

29. LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? *Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente*, Curitiba, v. 17, p. 9-18, 2007
30. LASAT, M. M. Phytoextraction of toxicmetals: A review of biologicalmechanisms. *Journal of Environmental Quality*, 2002.
31. LOSI, M. E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER JR, W. T., 1994. Environmental biochemistry of chromium. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 136: p. 91-121, 1994.
32. MALAVOLTA, E. *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*, 1980. São Paulo: Editora agrônômica Ceres Ltda., 251p. 1980.
33. MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos*. São Paulo: Petroquímica, 1994.
34. MARQUES, T. C.L.S.M.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.1, p.121-132, 2000.
35. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE ATENÇÃO À SAÚDE. *Atenção à saúde dos trabalhadores expostos ao chumbo metálico. Série A. Normas e Manuais Técnicos*. Editora MS. Brasília, 2006.
36. NEWMAN, L. A. & REYNOLDS, C. M. *Phytodegradation of organic compounds Current Opinion in Biotechnology*, 2004.
37. PAOLIELLO M. M.; DE CAPITANI, E. M. Occupational and environmental human lead exposure in Brazil. *Environ Res.* 2007; 103(2):288-97.

38. PEREIRA, M. P.; PEREIRA, F. J.; RODRIGUES, L. C. A.; BARBOSA, S.; CASTRO, E. M. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. Ver. Agro@ ambiente On-line, v. 7, n. 1, p. 36-43, 2013.
39. PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passauna – Curitiba-pr. In: 22 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA. Joinville, 2003.
40. , RICHTER, C. A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água, Ed. Edgard Blucher Ltda., S. Paulo, 2001.
41. ROCHA, A. F. da. Cádmio, Chumbo, Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública?”, FACULDADE DE CIENCIAS DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO, 2009.
42. RULEY, A. T.; SHARMA, N. C.; SAHI, S. V.; SINGH, S. R.; SAJWAN, K. S. Effects of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in *Sesbania drummondii* grown in soil. Environmental Pollution, v. 144, n. 1, p. 11-18, 2006.
43. ROMEIRO, S.; LAGOA, A. M. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. D.; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. Bragantia, 2007. v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.
44. RUPPENTHAL, J. E. Toxicologia, 2013. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013.

45. SANTOS, G. C. G. Dos. Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico, 2005. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
46. SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do Pinhão- Manso (*Jatropha curcas* L.). Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 2005.
47. SCHÄFER, U.; JAHREIS, G. Exposure, bioavailability, distribution and excretion of aluminum and its toxicological relevance to humans. *Trace Elements and Electrolytes*, 23: p.162-172.
48. SHARMA, P.; Dubey, R. S. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.17, p.35-52, 2005. <http://scielo.br/pdf/bjpp/v17n1/a04v17n1.pdf>
49. SHEN, Z. G., LI, Xiang-Dong., WANG, Chun- Chun., CHEN, Huai- Man.; CHUA, Hong. Lead phytoextraction from contaminated soil with highbiomass plant species. *Journal Environmental Quality*, Madison, 2002
50. USEPA, Introduction to phytoremediation: EPA/600/R-99/107. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, 2000.
51. VIANA, E. M. Fitoextração em solo contaminado com metais pesados. 135f. Tese (Doutorado em Ciências, Área de Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011
52. WÓJCIK, M.; TUKIENDORF, A. Accumulation and tolerance of lead in two contrasting ecotypes of *Dianthus carthusianorum*. *Phytochemistry*, v. 100, p. 60-65, 2011.