

## MOSAICO

**FITORREMEDIÇÃO UTILIZANDO  
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ACETATO  
DE CHUMBO  $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$  POR *Canavalia*  
*ensiformis* (FEIJÃO DE PORCO)****PHYTOREMEDIATION USING DIFFERENT  
CONCENTRATIONS OF LEAD ACETATE  
 $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$  BY *Canavalia ensiformis* (JACK BEANS)**

**Luísa Helena dos Santos Oliveira<sup>24</sup>**  
**Camila Miranda de Souza<sup>25</sup>**  
**Juliana Marin Pedro<sup>26</sup>**

Submissão: 08/12/2016

Revisão: 17/12/2016

Aceite: 17/12/2016

**Resumo:** Avaliou-se a espécie *Canavalia ensiformis* (feijão de porco) como agente fitorremediador de solos contaminados por chumbo. Utilizou-se como solo a terra vegetal, em garrafas PET, contaminado por de acetato de chumbo em diferentes concentrações (0, 350, 1.200, 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>). A planta acumulou maiores concentrações de chumbo na raiz, e um aumento no acúmulo de metal na espécie quanto maior a concentração, podendo-se inferir que a mesma possui potencial como fitorremediadora de chumbo.

**Palavras chave:** fitorremediação, *Canavalia ensiformis*, feijão de porco, chumbo.

**Abstract:** *Canavalia ensiformis* (Jack beans) was evaluated as a phytoremediation agent for soils contaminated with lead. Soil was used as soil in PET bottles, contaminated with lead acetate in different concentrations (0, 350, 1,200, 2,400 mg.kg<sup>-1</sup>). The plant accumulated higher concentrations of lead in the root, and an increase in the accumulation of metal in the species the higher the concentration, and it can be inferred that it has potential as a phytoremediate of lead.

**Keywords:** phytoremediation, *Canavalia ensiformis*, jack beans, lead.

---

<sup>24</sup> Professor Doutor. CECS/UFABC. E-mail: [luisa.oliveira@ufabc.edu.br](mailto:luisa.oliveira@ufabc.edu.br)

<sup>25</sup> Enga. Ambiental e Urbana/UFABC. Pós-graduanda FMU. E-mail: [ca.miranda@ymail.com](mailto:ca.miranda@ymail.com)

<sup>26</sup> Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental. UFABC. E-mail: [jumarinp@gmail.com](mailto:jumarinp@gmail.com)

## Introdução

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) tem registrado e divulgado uma lista de áreas contaminadas, em dezembro de 2012 foram totalizados 4.572 registros no Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, sendo que os principais grupos de contaminantes encontrados foram: solventes aromáticos, combustíveis líquidos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, metais e solventes halogenados (Cetesb, 2012).

Os metais, que ocupam o quarto lugar na lista da CETESB, ocorrem naturalmente no solo, sendo que alguns destes possuem funções essenciais para os organismos vivos, como o Manganês e Zinco (Franco et al., 2011). Entretanto, quando em altas concentrações, pode vir a comprometer o ambiente como um todo, ou seja, fauna, flora, recursos hídricos, solo.

O chumbo, um dos elementos classificados como metal pesado, está presente em diversos produtos de uso diário dos seres humanos, como cerâmicas, munições, pilhas e baterias, eletroeletrônicos, entre outros (Prada & Oliveira, 2010).

A legislação brasileira, bem como a de outros países, exige que áreas contaminadas sejam tratadas de modo a diminuir os riscos à população e ao ambiente (Marques, 2009). No Estado de São Paulo, a CETESB realizou um estudo de forma a obter valores orientadores para a contaminação do solo com determinadas substâncias, no caso do chumbo são: de prevenção 72 mg.kg<sup>-1</sup> (de peso seco de solo); de intervenção em área agrícola, residencial e industrial; 150, 240 e 4.400 mg.kg<sup>-1</sup> (de peso seco de solo), respectivamente (Cetesb, 2014a).

A remediação de áreas contaminadas consiste no uso de diferentes medidas de contenção e tratamento do local, podendo ser química (uso de reagentes), física (remoção da camada contaminada) ou biológica (uso de plantas e microrganismos), devido aos riscos ambientais que as técnicas ex situ

possuem, como escavação, manipulação, transporte e armazenamento, tem-se dado preferência por técnicas de remediação *in situ* (Procópio et al., 2009).

A utilização de plantas como agente descontaminador, é conhecida como fitorremediação, esta possui diversas vantagens sobre outras técnicas como o menor custo; propriedades biológicas, físicas e químicas do solo são mantidas ou, até mesmo, melhoradas; redução da lixiviação de contaminantes no solo; esteticamente favorável ao local e de grande aceitação pública (Procópio et al., 2009).

O presente trabalho visou avaliar o desempenho da espécie *Canavalia ensiformis* (feijão de porco) como agente fitorremediador de solo vegetal contaminado por chumbo. Para isso, fez-se uma análise comparativa sobre o crescimento da *Canavalia ensiformis* em diferentes concentrações de chumbo no solo (0, 350, 1.200, 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>), quantificando a absorção promovida pela mesma em solo contaminado por chumbo, tanto da parte aérea quanto da raiz, verificando-se a máxima retenção da leguminosa.

## Material e Métodos

### Caracterização das sementes

As sementes de *Canavalia ensiformis* foram obtidas do fornecedor BioSementes e embaladas em janeiro de 2014, tendo validade de um ano, pureza de 92% e germinação de 70%. Sendo indicadas para cobertura verde em cultura perene, fixação de nitrogênio e controle de ervas espontâneas.

### Caracterização do solo

O solo foi adquirido do fabricante VerdeForte, composto por turfa, terra virgem, esterco de gado, calcário, fertilizante orgânico e húmus de minhoca. O fabricante garante que o solo possui no mínimo os parâmetros abaixo (Tabela 01).

Tabela 01 – Garantias mínimas do solo

<b>Parâmetro</b>	<b>Quantidade/Percentual</b>
<b>Umidade (máx)</b>	50%
<b>N Total (mín)</b>	1%
<b>Carbono orgânico (mín)</b>	15%
<b>CRA (mín)</b>	60%
<b>CTC (mín)</b>	300 mmolc   dm <sup>3</sup>
<b>pH</b>	6
<b>Relação C/N (máx)</b>	18/1
<b>Relação CTC/N (mín)</b>	20
<b>Soma NPK</b>	2%

Fonte: Rótulo da embalagem da terra vegetal VerdeForte.

#### Localização e condições ambientais do experimento

O experimento foi conduzido na região de Interlagos (São Paulo, SP), em condições semi-controladas de luz e temperatura, no período de 15 de maio a 11 de julho de 2014.

#### Delineamento experimental e análise estatística

Foi realizado o tratamento da planta com três concentrações distintas de acetato de chumbo e o controle (0, 350, 1.200, 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>), sendo que para cada uma destas foram feitas três repetições, de modo a obter a média e desvio padrão dos resultados. Assim, a significância dos tratamentos foi analisada através do programa estatístico INSTAT (Rutger University).

#### Cálculo de acetato de chumbo necessário em cada vaso

Nesse experimento foi necessário calcular a quantidade de acetato de chumbo necessária para se chegar as seguintes concentrações de chumbo: 350, 1.200, 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>.

Para isso, inicialmente foi calculada a quantidade de acetato de chumbo para 1kg de solo.

Sabe-se que a massa molar do acetato de chumbo é de 379,33 g/mol, e que a massa molar do chumbo é de 207mg/mol. Portanto, fazendo uma regra de três simples, é possível saber quantos gramas de acetato de chumbo é necessário para ter as concentrações de chumbo descritas no experimento.

Posteriormente, o valor encontrado foi multiplicado por 1,2 kg, já que essa é a quantidade de solo presente em cada vaso e o valor encontrado anteriormente é válido apenas para 1g de solo.

A tabela a seguir (Tabela 02) ilustra os valores encontrados e utilizados para a contaminação dos solos com acetato de chumbo.

Tabela 02 – Quantidade de acetato de chumbo utilizada para se alcançar as concentrações de chumbo necessárias no experimento.

<b>Concentração utilizada no experimento (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Acetato de chumbo para 1 kg de solo (mg)</b>	<b>Acetato de chumbo para 1,2kg de solo (mg)</b>
<b>350</b>	641,38	769,66
<b>1.200</b>	2.199,01	2.638,82
<b>2.400</b>	4.398,03	5.277,63

#### Desenvolvimento do experimento

Foram utilizadas 30 sementes de *Canavalia ensiformis*, sendo cada uma colocada em um copo plástico com terra vegetal, este conjunto foi colocado em uma caixa de isopor envolta por papel alumínio, a qual foi ventilada por ventoinhas e iluminada por uma lâmpada do fabricante Golden, com potência de 36 W, temperatura de cor de 6.500 K e fluxo luminoso 2.160 lm. As sementes foram deixadas em copos plásticos por 21 dias e regadas quando necessário.

No dia 06/06/14 foi feito o transplante de 12 indivíduos para garrafas PET (politereftalato de etileno) de volume comercial de dois litros, tendo a sua parte superior retirada e a base perfurada para escoamento da água, sendo preenchida com aproximadamente 1,2 kg de terra vegetal contaminada por

diferentes concentrações de acetato de chumbo e, regadas quando necessário. Por não possuir todos os indivíduos com o tamanho semelhante, optou-se por separar 4 espécies de tamanho semelhante e colocar cada uma em uma concentração diferente.

Foi construída uma estufa (Figura 01) de dimensões 1,5 x 2,0 x 1,0 m, com tubos de PVC e manta térmica do fabricante DURALFOIL, linha Extra, seguindo os conceitos apresentados em Leal et al. (2006). As plantas foram colocadas no interior da estufa e para imitar o fotoperíodo da planta a lâmpada era ligada por um período de 12h.

Figura 01 – Estufa construída e utilizada no experimento.



No decorrer de 5 semanas as plantas foram regadas quando necessário com água da torneira. Após este período, as amostras foram identificadas e secas em estufa com circulação forçada a 60°C por dois dias, assim, estes materiais foram moídos em moinho tipo Willey para determinação dos teores totais do metal pesado (chumbo) nos extratos dos tecidos.

#### Determinação do teor de chumbo nos tecidos vegetais (raiz e partes aérea)

A extração de chumbo do tecido vegetal (raiz e parte aérea) foi feita por digestão úmida em sistema aberto através da mistura ácido nítrico + ácido perclórico –  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ . Esse procedimento seguiu o protocolo adotado

pelo Forest Ecology Lab/Forestry Department of Michigan State University (Hunter, 1975).

Cerca de 0,5 g de tecido vegetal seco e moído foi transferido para tubo digestor de capacidade de 80 mL, e adicionado 5 mL de ácido nítrico – PA (65%). A mistura foi coberta com um pequeno funil de vidro e reagindo por uma noite. No dia seguinte, a mistura foi colocada em bloco digestor à temperatura de 150°C por 45 minutos; em seguida, retirada do bloco digestor e esfriada à temperatura ambiente na capela durante 5 min.

Após resfriamento foram adicionados 2 mL de ácido perclórico - PA (72%) e a amostra recolocada no bloco digestor à temperatura de 215°C por 2h15; após este período o funil foi removido e a digestão prolongada por mais 15 min. Após resfriamento final do extrato obtido, foram adicionados aproximadamente 30 mL de água destilada deionizada. Em seguida, o extrato foi transferido e colocado em balão volumétrico de 50 mL. Os teores do metal pesado, chumbo, foram analisados por ICP-AES.

A curva analítica e a solução de calibração utilizadas nas análises dos metais pesados foi preparada a partir de diluições de soluções estoque 1000 mg.L<sup>-1</sup> (Titrisol, Merck, Alemanha), respeitando-se as concentrações e os respectivos extratores. A linha espectral (nm) adotada para o chumbo foi de 220 a 353.

#### Cálculo do Índice de Translocação (IT)

A capacidade da planta em extrair o chumbo do solo pode ser avaliada pelo Índice de Translocação (IT), de acordo com Abichequer & Bohnen apud Almeida, 2007, o qual pode ser calculado a partir da equação (1):

$$IT = \frac{\text{Quantidade de chumbo acumulada na parte aérea}}{\text{Quantidade de chumbo acumulada na planta}} \cdot 100 \quad (1)$$

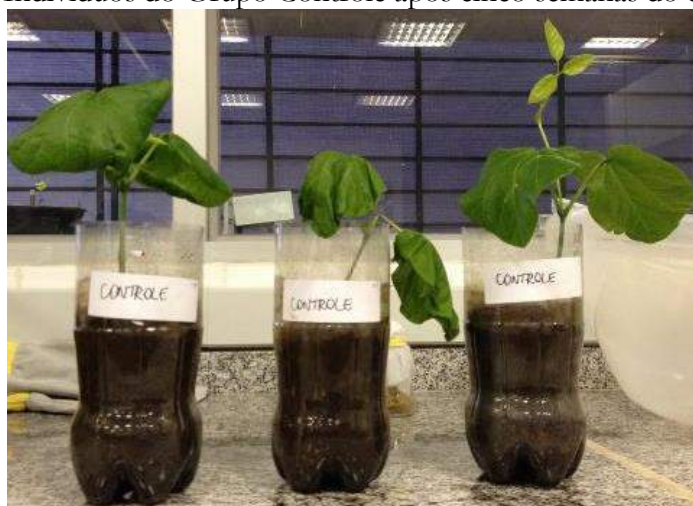
## Resultados e Discussão

### Desenvolvimento do feijão de porco na presença de chumbo

No Laboratório de Processos Biológicos da Universidade Federal do ABC, localizado no município de Santo André foi realizada a coleta dos indivíduos para que estes fossem medidos e, posteriormente, encaminhados para análise.

As Figuras 3 a 6 apresentam os indivíduos de cada grupo (controle e concentração de 350, 1.200 e 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>).

**Figura 1** – Indivíduos do Grupo Controle após cinco semanas do experimento.



**Figura 2** – Indivíduos do Grupo de Concentração de 350 mg.kg<sup>-1</sup> após cinco semanas do experimento.

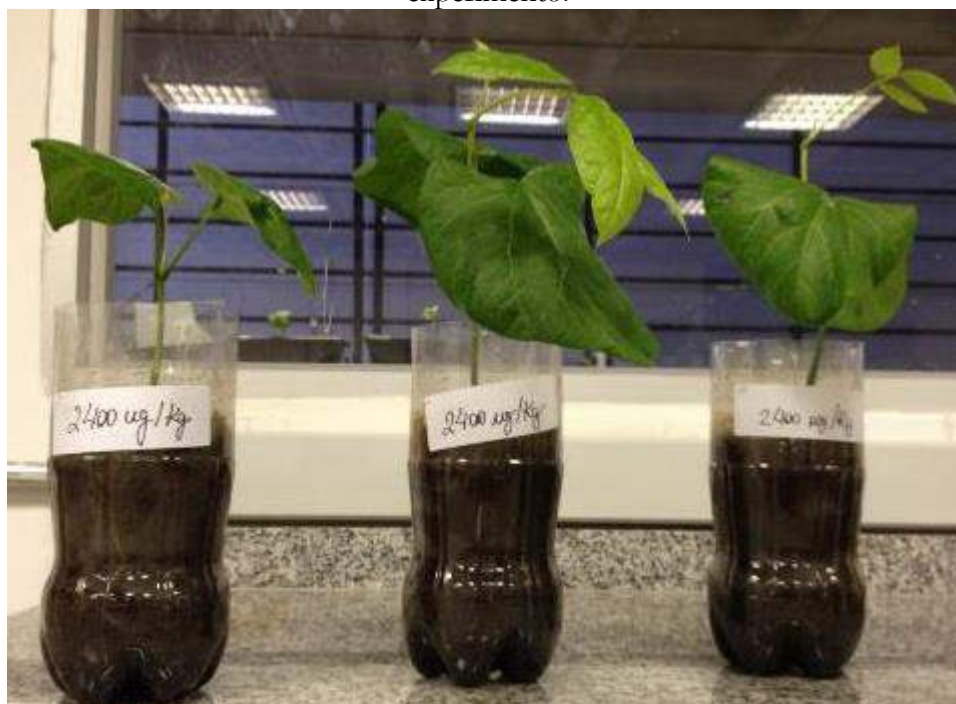




**Figura 3** – Indivíduos do Grupo de Concentração de  $1.200 \text{ mg.kg}^{-1}$  após cinco semanas do experimento.



**Figura 4** – Indivíduos do Grupo de Concentração de  $2.400 \text{ mg.kg}^{-1}$  após cinco semanas do experimento.



No decorrer das 5 semanas em que as plantas ficaram em contato com o chumbo, foram observados sinais de clorose e murchamento (Figura 5) em dois indivíduos do Grupo Controle e um do Grupo de concentração de  $1.200 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Figura 5 – Sinais de clorose e murchamento nas plantas após transplante para o solo contaminado com chumbo.



Foi notado que o Grupo Controle apresentou menor crescimento quando comparado aos outros grupos, tanto de área foliar quanto de altura, apesar de ter recebido as mesmas condições dos outros grupos.

Segundo Romeiro (2005), algumas plantas ao serem submetidas a altas concentrações de chumbo vêm a apresentar sinais de murchamento e clorose, o que pode ser atribuído à limitação de absorção de água em decorrência da suberização e das alterações nas raízes. Todavia, não era esperado que os indivíduos do Grupo Controle apresentassem estes sintomas, tendo em vista que não foram submetidos a concentrações significativas de chumbo.

No momento do desplante dos indivíduos foi observado que estes foram regados com maior frequência que a necessária, pois o solo continha muita água. Entretanto, no decorrer do experimento, os pires que foram colocados sob as garrafas PET não apresentavam água proveniente do escoamento desta no solo, assim, o encharcamento não foi percebido. Este excesso de água provocou o aparecimento de fungos, tanto na parte sobre o solo quanto em seu interior (Figura 6).

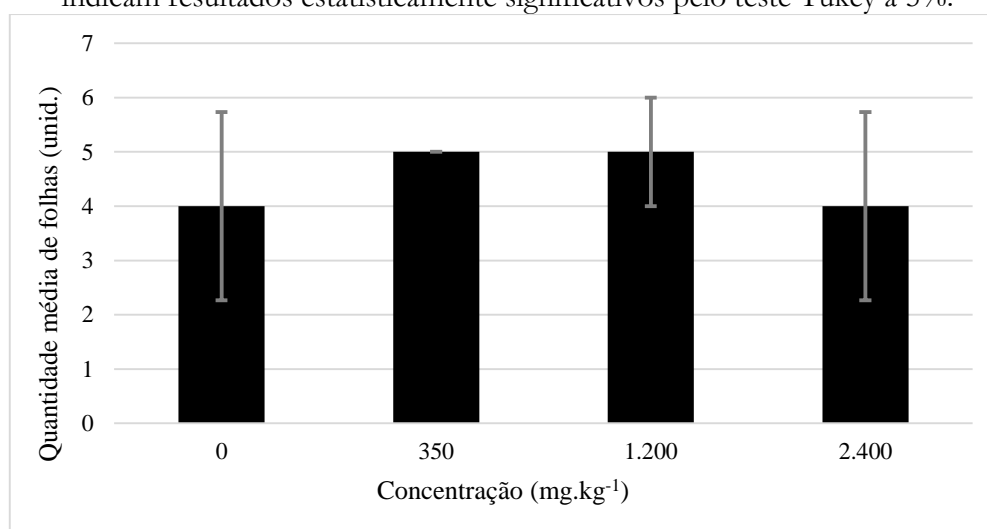
Figura 6 – Presença de fungos, devido ao encharcamento do solo.



### Quantidade de folhas

A quantidade de folhas foi obtida ao fim do experimento, não sendo observada a queda destas. O Gráfico 1 ilustra a média do número de folhas encontrada para cada concentração de chumbo.

Gráfico 1 – Número médio de folhas para cada concentração de chumbo. Letras diferentes indicam resultados estatisticamente significativos pelo teste Tukey a 5%.



Observa-se que a quantidade média de folhas foi maior nas concentrações de 350 e 1.200 mg.kg<sup>-1</sup> (5 folhas) e inferior para o Grupo Controle e concentração de 2.400 mg.kg<sup>-1</sup> (4 folhas). Isto mostra que mesmo

com a adição e aumento da concentração de chumbo, as plantas continuaram a apresentar uma quantidade similar de folhas, ou seja, não foi encontrada uma relação entre a concentração de chumbo e a quantidade de folhas dos indivíduos.

O experimento realizado por Romeiro (2005) apresenta que a partir da dose de  $100 \mu\text{mol.L}^{-1}$  houve queda do número de folhas. Segundo Punz & Sieghardt (1993), algumas plantas apresentam murchamento e posterior queda da folha, quando submetidas a altas concentrações de chumbo. Entretanto, neste experimento não houve a queda de folhas, sendo este mesmo resultado obtido por Almeida (2007).

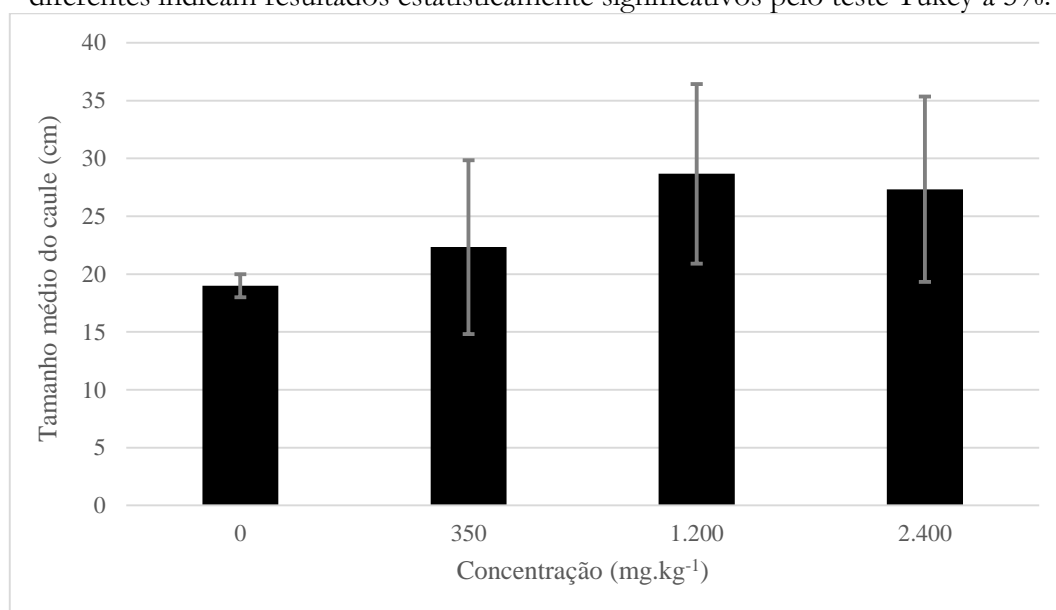
#### Crescimento da planta

Para a análise da planta, esta foi dividida em duas partes: caule e raiz.

O caule da planta apresentou um crescimento linear até a concentração de  $1.200 \text{ mg.kg}^{-1}$ , após esta houve uma queda na altura obtida (

Gráfico 2).

Gráfico 2 – Altura média do caule dos indivíduos por concentração de chumbo. Letras diferentes indicam resultados estatisticamente significativos pelo teste Tukey a 5%.



De acordo com Almeida (2007), após a absorção do chumbo pela planta, esta pode vir a ter diversos problemas em seu metabolismo, como inibição de atividades enzimáticas e distúrbios de nutrição mineral, o que pode vir a alterar o crescimento normal da planta.

Romeiro (2005) observou que com o aumento da concentração de chumbo, o crescimento da planta diminuía, tendo uma diferença estatística significativa a 5%. Já Almeida (2007) em seu experimento mostra que após 14 dias de aplicação de chumbo, as plantas apresentaram alturas entre 30 e 40 cm e não houve diferença estatisticamente significativa.

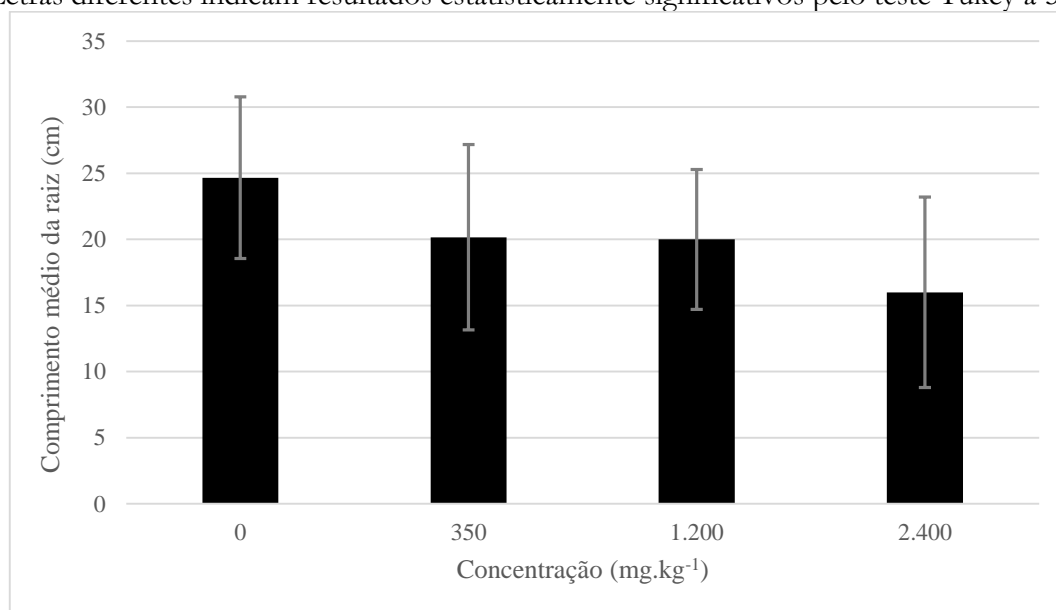
Observa-se no

Gráfico 2, que o desenvolvimento da planta foi afetado somente a partir da concentração de  $1.200 \text{ mg.kg}^{-1}$ , mas não significativo estatisticamente, ou seja, não houve relação entre concentração de chumbo e altura das plantas.

Já as raízes dos indivíduos apresentaram um decréscimo de tamanho com o aumento da concentração de chumbo no solo (

Gráfico 3).

Gráfico 3 – Comprimento médio da raiz dos indivíduos por concentração de chumbo. Letras diferentes indicam resultados estatisticamente significativos pelo teste Tukey a 5%.



No experimento realizado por Batista (2013), o comprimento radicular do feijão de porco na maior concentração de chumbo ( $400 \text{ mg.L}^{-1}$ ) sofreu uma redução de 78% em comparação com o valor obtido no controle.

O chumbo pode afetar o sistema fisiológico das plantas, mostrando alguns sintomas para as raízes, tais como raízes amarronzadas e pouco desenvolvidas (Santos, 2005). Conforme esperado, as raízes do feijão de porco do experimento (Figura 7) apresentaram baixo desenvolvimento quanto maior a concentração de chumbo a que estavam expostas. Além disto, foi observado que maior a concentração de chumbo, maior a fragilidade das raízes, pois estas desprendiam-se facilmente no momento do desplante.

Figura 7 – Raízes nas concentrações de 0, 350, 1.200 e 2.400  $\text{mg.kg}^{-1}$ , da esquerda para a direita.



Estudos, como o de Iannacone e Alvariño (2005), mostram que a toxicidade do chumbo reduz o crescimento radicular das plantas, estes autores realizaram medições quanto ao comprimento das raízes da cebola, beterraba,

arroz e rabanete, observando uma redução de 37%, 75%, 34% e 38%, respectivamente, para concentrações de chumbo igual a 200 mg.L<sup>-1</sup> de chumbo.

O experimento mostrou que houve um estímulo no crescimento da raiz para as concentrações de 350 e 1.200 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo este estímulo reduzido na concentração de 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>. Este estímulo no crescimento da raiz da planta feijão de porco foi observado por Batista (2013), onde houve um aumento de 3,41 cm para cada miligrama de chumbo na solução até a concentração de 168,5 mg.L<sup>-1</sup> de chumbo, já para concentrações superiores observou-se uma redução do comprimento radicular em 6,53 cm por miligrama de chumbo acrescentado.

A redução do comprimento radicular ocorre devido ao efeito negativo do chumbo, o que vem a afetar a organização dos microtúbulos durante a divisão e, também, a reduzir a elasticidade das células das raízes na zona de alongamento celular (Kozhevnikova et al., 2009).

Com relação a espessura da raiz, a mesma não foi medida no experimento, mas segundo Batista (2013) aproximadamente 99% das raízes do feijão de porco são muito finas, com espessura inferior a 1 mm independente da concentração de chumbo. Assim, o fato das raízes aparentarem serem mais finas em altas concentrações de chumbo, pode não ser um efeito de toxicidade na raiz.

#### Absorção de chumbo

Após ter sido realizada a extração de chumbo do tecido vegetal (raiz e parte aérea) por digestão úmida, foram obtidos os valores apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 1 – Valores de chumbo absorvido pela parte aérea de cada um dos indivíduos

<b>Concentração (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>
<b>0</b>	0,050	0,053	0,062
<b>350</b>	0,060	0,075	0,060
<b>1.200</b>	0,273	0,120	0,340
<b>2.400</b>	0,923	0,400	0,857

Tabela 2 – Valores de chumbo absorvido pela raiz de cada um dos indivíduos

<b>Concentração (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>
<b>0</b>	0,150	0,093	0,092
<b>350</b>	2,040	2,075	2,060
<b>1.200</b>	7,073	6,120	6,340
<b>2.400</b>	7,923	8,400	6,857

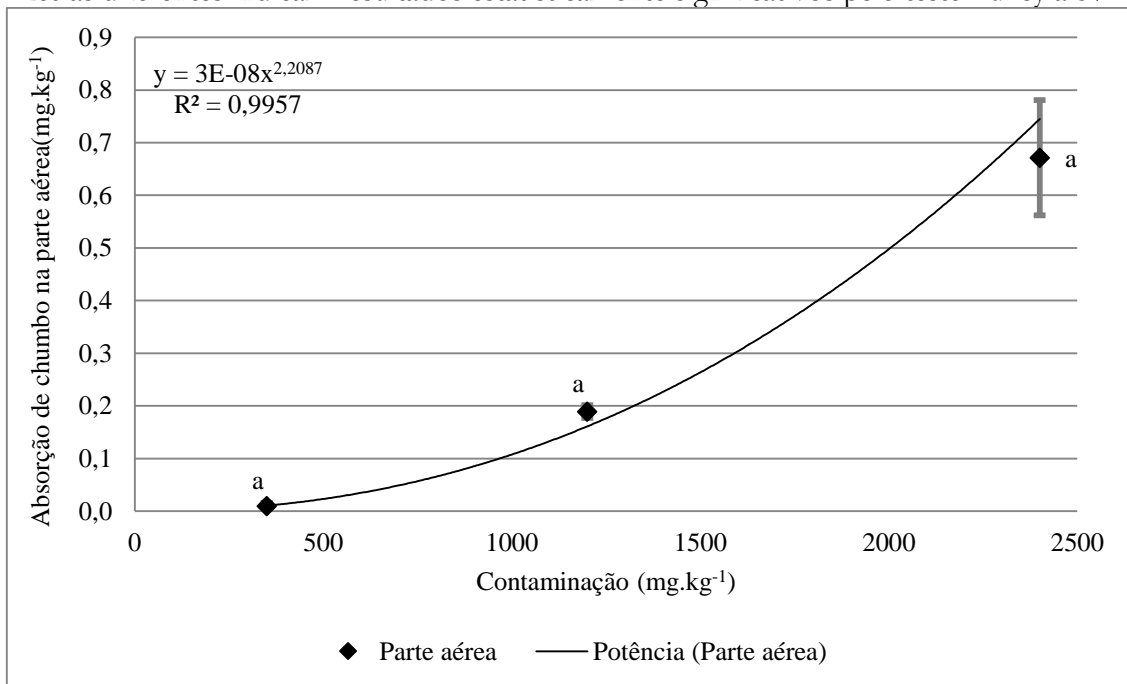
Devido à sensibilidade do equipamento em detectar níveis de chumbo, foram encontradas baixas concentrações de chumbo no Grupo de Controle. Assim, foi subtraído de cada amostra o valor de chumbo encontrado de seu respectivo controle, conforme feito por Mazzuco (2008).

De acordo com Fernandes et al. (2011), o chumbo que se encontra na atmosfera está em sua forma particulada, assim, partículas grandes (diâmetro maior que 2µm) precipitam da atmosfera rapidamente e próximo a fonte de emissão. Já partículas pequenas podem ser transportadas a grandes distâncias, devido às correntes de ar atmosférico (Fernandes et al., 2011). Isto vem a explicar o chumbo absorvido pelo Grupo Controle, pois dificilmente será encontrado um solo que não possua qualquer concentração de chumbo.

O Gráfico 4 apresenta a absorção média obtida para a parte aérea da planta, percebe-se apesar do baixo valor absorvido pela parte aérea da planta, o aumento é quadrático. Almeida (2007) em seu experimento apresenta o aumento quadrático de chumbo na parte aérea para as plantas, mas que com o passar dos dias era muito provável que o teor de chumbo na parte aérea tendesse a diminuir pois a planta atingiria sua capacidade máxima de fitoextração.

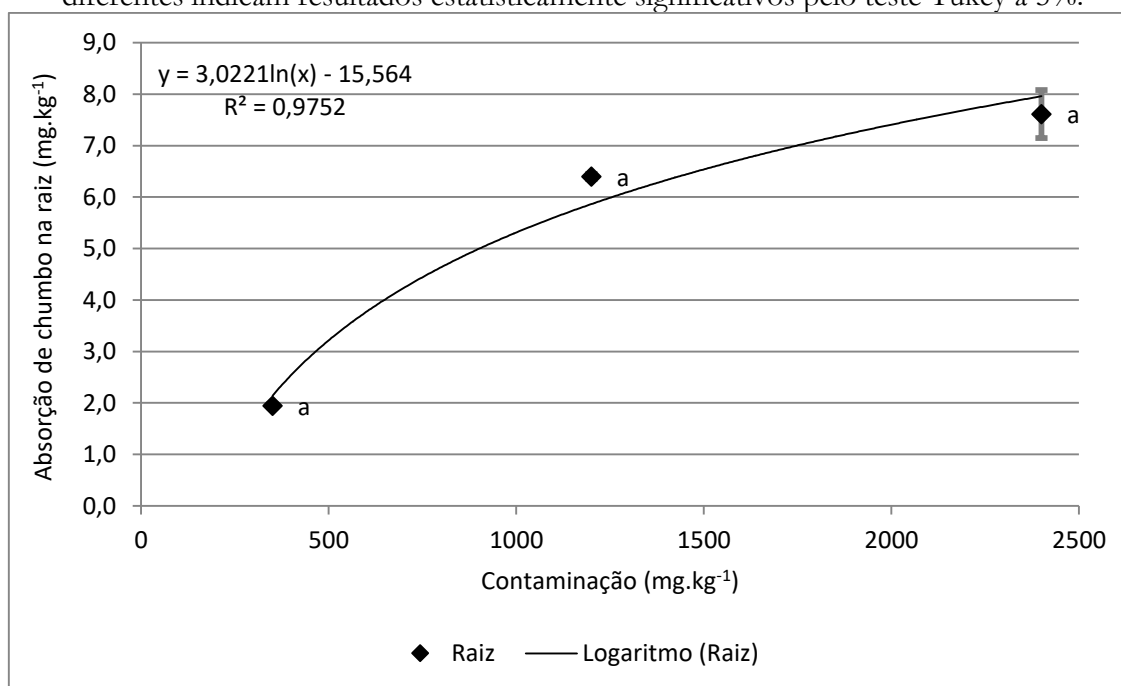


Gráfico 4 – Absorção média de chumbo na parte aérea da planta para cada concentração. Letras diferentes indicam resultados estatisticamente significativos pelo teste Tukey a 5%.



Conforme esperado, a absorção de chumbo nas raízes (Gráfico 5) é maior que a parte aérea, visto que quando em baixas concentrações e acumulando-se próximo a endoderme, esta age como uma barreira parcial para a translocação do chumbo para a parte aérea (Canata, 2011).

Gráfico 5 – Absorção média de chumbo na raiz da planta para cada concentração. Letras diferentes indicam resultados estatisticamente significativos pelo teste Tukey a 5%.



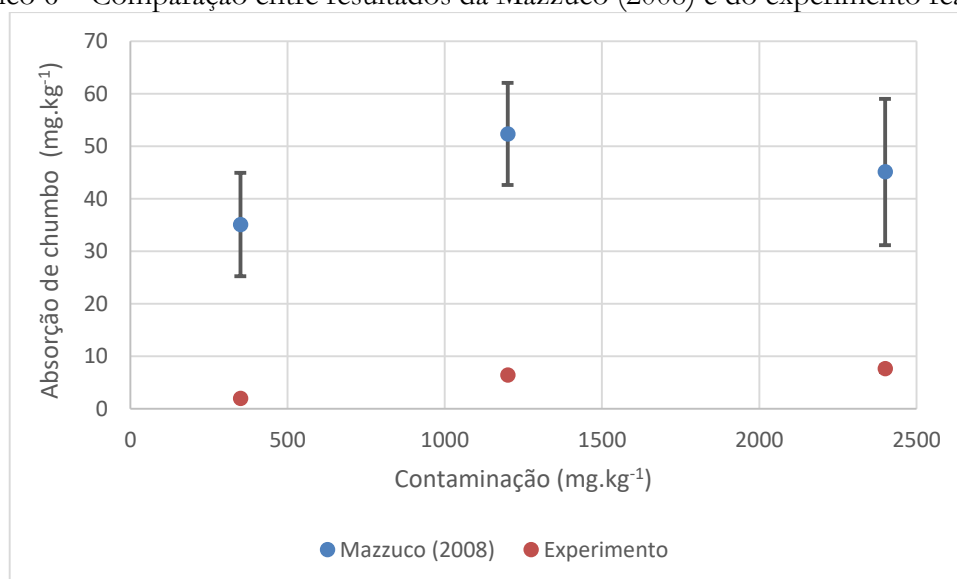
Para o experimento realizado percebe-se que devido a linha de tendência ser logarítmica, a absorção tende a um valor, que seria a sua capacidade máxima de retenção de chumbo.

De acordo com Almeida (2007), a absorção de chumbo na raiz decai quando a concentração de chumbo chega a 1.000  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , já Mazzuco (2008) observou que a capacidade de absorção de chumbo atinge a concentração de 1.200  $\text{mg.kg}^{-1}$ , ou seja, para ambos autores foi encontrada uma concentração de chumbo máxima que limita a capacidade de absorção da planta. Todavia, para o experimento desenvolvido, não foi observada uma concentração máxima de chumbo no solo que tende a limitar a capacidade de absorção da planta.

Comparado os valores encontrados com os observados por Mazzuco (2008), percebe-se que o experimento atingiu valores bem menores que o esperado. O

Gráfico 6 ilustra a comparação entre os valores obtidos no experimento e os observados por Mazzuco (2008).

Gráfico 6 – Comparação entre resultados da Mazzuco (2008) e do experimento realizado



Percebe-se que o erro encontrado por Mazzuco foi superior ao apresentado no experimento, assim, devido a diferença de grandezas não foi possível observar o erro do experimento no gráfico acima.

Mazzuco (2008) inseriu três plantas em cada vaso utilizado no experimento, isto vem a explicar a grande diferença encontrada entre o experimento realizado e o de Mazzuco (2008), pois o presente experimento teve o intuito de obter a capacidade de absorção de chumbo de uma planta e não de um conjunto delas.

Os trabalhos citados (Romeiro, 2005; Almeida, 2007; Batista, 2013) utilizaram um sistema distinto para o crescimento da planta, como a hidroponia e areia com solução nutritiva. Apesar disto, tornou-se possível verificar que houve uma mesma tendência em relação a absorção de chumbo pela planta.

### Índice de Translocação (IT)

O índice de translocação (IT) do chumbo das plantas de feijão de porco  
(

Tabela 3) foi inferior a 10%, demonstrando que o chumbo teve baixa mobilidade para a parte aérea, segundo Romeiro (2005) há uma relação entre a quantidade retida de chumbo no solo e a restrição da translocação de chumbo para a parte aérea.

Tabela 3 – Índice de translocação de chumbo em plantas de feijão de porco

<b>Concentração (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>IT (%)</b>
<b>350</b>	0,51
<b>1.200</b>	2,87
<b>2.400</b>	8,11

Almeida (2007) observou que o feijão de porco, após 27 dias em contato com o chumbo, atingiu o índice de translocação igual a 7,28% para 1.000  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  de chumbo. Romeiro et al. (2007) obtiveram valores da ordem de 99% de absorção de chumbo pela raiz da planta, cultivado em solução nutritiva com 400  $\mu\text{M}$  de chumbo.

Comprovando que a planta absorve mais chumbo na raiz que na parte aérea e que o feijão de porco poderia ser usado em técnicas de biorremediação em que tem a raiz seja o agente principal.

## **Conclusão**

A espécie *Canavalia ensiformis* (feijão de porco) possui potencial para ser utilizada em uma das técnicas de fitorremediação como a fitoestabilização. Isto se deve ao fato da planta apresentar pouca translocação do chumbo para a parte aérea, tanto que o índice utilizado para este cálculo apresentou um valor menor que 10%.

As diferentes concentrações de chumbo (350, 1.200, 2.400  $\text{mg.kg}^{-1}$ ) utilizadas na planta tiveram o intuito de verificar a saturação da planta, bem como sinais de intoxicação. Entretanto, não foi observada a concentração limite

para esta espécie, mas houve uma diminuição considerável da capacidade de absorção da planta para a concentração de 2.400 mg.kg<sup>-1</sup>, além dos sinais de intoxicação da planta como a clorose e enfraquecimento das raízes quanto maior a concentração de chumbo aplicada.

Os resultados do experimento foram compatíveis com estudos semelhantes. Isto demonstra que apesar da dificuldade em realizar comparações quantitativas, devido as especificidades do experimento, o mesmo apresentou a mesma tendência observada nos demais estudos.

Assim, de acordo com os resultados obtidos conclui-se que a planta apresenta potencial fitorremediador, para o metal chumbo. Pois, o feijão de porco, além de absorver quantidades significativas de chumbo, o mesmo apresentou poucos sinais de intoxicação, apesar da elevada concentração de chumbo. Todavia, torna-se necessária a realização de mais estudos sobre a espécie para melhor compreender a sua capacidade de fitoestabilização.

### Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, E. L. **Desenvolvimento de feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.] na presença de chumbo**. 2007. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2007.
- BATISTA, A. A. **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas, Departamento de Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2014.
- CANNATA, M. G. **Efeitos do cádmio e chumbo no desenvolvimento de rúcula (*Eruca sativa* L.) rabanete (*Raphanus sativus* L.) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solução nutritiva**. 2011. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- CETESB. **Relação de área contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo**. 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2012/texto-explicativo.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. Gabinete da Diretoria. Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 21 fev. 2014a. Seção 1, p. 53.