

ANÁLISE DA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE SEMENTES DE *BRASSICA JUNCEA* EM SOLOS CONTAMINADOS POR CHUMBO

Elisabeth Donega Diestelkamp¹

Luciano Santos de Almeida²

Marco Aurélio Gattamorta³

RESUMO

A contaminação de solos por diferentes substâncias químicas prevê uma série de estratégias de remediação, que pode envolver processos químicos, físicos e biológicos. Estratégias de fitorremediação podem ser aplicadas em solos contaminados por metais, devido a capacidade que algumas plantas possuem de adsorver ou absorver estes contaminantes. Neste trabalho, pretendeu-se avaliar a capacidade de germinação e desenvolvimento de mostarda indiana (*Brassica juncea*) em solo contaminado por chumbo, tendo em vista a capacidade que esta espécie possui de reduzir as concentrações deste metal no solo. Os resultados mostraram que as plantas submetidas a solos contaminados com chumbo sofreram alterações em sua morfologia (clorose e má formação) e maior crescimento do que plântulas submetidas a solo descontaminado, demonstrando certo grau de tolerância e capacidade de adsorver ou absorver tais contaminantes.

Palavras-chave: fitorremediação, chumbo, *Brassica juncea*, solo contaminado.

1. INTRODUÇÃO

Metais potencialmente tóxicos, como o chumbo (Pb), são responsáveis pela contaminação de solo e de recursos hídricos, podendo atingir lençóis freáticos, uma vez que possuem capacidade de retenção e movimentação no solo e na água, serem absorvidos por plantas e apresentar bioacumulação ao longo da cadeia trófica (COSTA, 1991).

¹ Faculdades Metropolitanas Unidas - FMU. Escola de Arquitetura e Engenharia - Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: bethdonega@gmail.com

² Escola de Arquitetura e Engenharia - Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: lucianoalmeida.engamb@gmail.com

³ Escola de Arquitetura e Engenharia - Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: marco.gattamorta@fmu.br

O chumbo é um metal que apresenta ampla aplicação, em razão de sua resistência à corrosão, baixa temperatura de fusão, alta maleabilidade e facilidade de extração e metalurgia. Devido estas características, é largamente utilizado na indústria automobilística para confecção de baterias automotivas, como protetor radiológico por absorver radiação ionizante, na indústria de eletroeletrônicos em soldas e em tubos de raios catódicos, no revestimento de cabos e tubulações nas indústrias, para transporte de reagentes oxidantes, para fabricação de vidros e equipamentos médicos, e na composição de ligas metálicas e cerâmicas, dentre outros (EVANGELISTA, 2013). Além do amplo uso na indústria, o chumbo também é utilizado na composição de agrotóxicos e pesticidas de uso agrícola (AUGUSTO, 2014). As concentrações de chumbo em fertilizantes fosfatados podem variar entre 7-225 mg/L/kg, entre 2 - 1450 mg/L/kg em fertilizantes nitrogenados e entre 6,6 - 3500 mg/L/kg em esterco (GUILHERME et al., 2005). Gonçalves (2009) detectou teores em torno de 215 mg/L/kg em fertilizantes fosfatados, apontando, no estudo, o atendimento a legislação brasileira.

O chumbo apresenta elevada toxicidade para homens e animais, já que não possui nenhuma função fisiológica conhecida no organismo. Possui como principais vias de exposição a oral, inalatória e cutânea, e, após absorvido, pode ser armazenado em tecidos mineralizados (ossos e dentes) e provocar efeitos no sangue, medula óssea, sistema nervoso central e periférico, e rins (IPCS, 1995; UEBEL et al., 2017).

Estudos apontam que, em longo prazo, a exposição crônica ao chumbo pode afetar ossos, rins, fígado, sistema nervoso central, cardiovascular, reprodutivo e endócrino, bem como a formação do feto, sendo apontado como um dos metais que apresentam maior risco a saúde humana, devido principalmente aos efeitos neurotóxicos que afetam principalmente crianças (MARTINS, 2014).

Devido ao amplo uso do solo por indústrias que utilizam ou utilizaram substâncias que possuem chumbo em sua composição, particularmente nas áreas metropolitanas e áreas amplamente urbanizadas, o monitoramento da contaminação de solo é um dos pré-requisitos essenciais para a viabilização de empreendimentos e, principalmente, para a redução de risco aos trabalhadores e moradores, no que tange a mudança de uso do solo. Dados da CETESB (2017)

apontam para a existência de 5.942 áreas contaminadas cadastradas no território do Estado de São Paulo.

Este amplo número de áreas contaminadas aponta para a necessidade de estabelecer estratégias para a remediação e reabilitação de áreas contaminadas. Tecnologias físicas e químicas podem apresentar elevado custo de descontaminação, e, em função disto, a fitorremediação tem sido apontada como uma alternativa economicamente interessante. Apesar disto, para áreas contaminadas no Estado de São Paulo, foi constatado, até dezembro de 2017, que apenas cinco áreas se encontravam sujeitas à esta técnica, correspondendo a menos de 1% das 1.101 áreas contaminadas por metais pesados no Estado de São Paulo.

A fitorremediação, ainda não tão explorada no Estado de São Paulo, consiste na utilização de plantas para a remoção ou estabilização de contaminantes por meio de processos físico, químicos e biológicos que ocorrem na própria planta (GRATÃO et al., 2005; GONÇALVES Jr. et al., 2014). Além disso, a fitorremediação apresenta como vantagens o baixo custo, a melhoria visual do ambiente a ser tratado, o reduzido impacto ambiental, o fácil manuseio e controle das plantas empregadas, a possibilidade de utilizar culturas que possuem sistemas de cultivos mecanizados; e, posteriormente à colheita, pode ser realizada a reciclagem dos materiais (LAMEGO, VIDAL, 2007).

Além do baixo custo de implantação, a técnica também tem como vantagens a melhoria ambiental com redução de impactos ambientais, a facilidade de implementação e manuseio das espécies vegetais empregadas e ainda a reciclagem dos materiais utilizados (DE SOUZA, KONRAD, GONÇALVEZ JUNIOR, 2016; UEBEL et al., 2017).

A fitorremediação pode ser dividida em 5 processos distintos: a fitoextração (hiperacumulação), a fitoestabilização, a rizofiltração, a fitotransformação e a fitovolatilização (GONÇALVES JUNIOR et al., 2014). A fitoextração consiste no uso de plantas hiperacumuladoras, na qual ocorre a absorção pelas raízes e deposição do metal nos tecidos da parte aérea, como caules e folhas. Já a fitoestabilização não remove o contaminante, mas promove a estabilização e imobilização no sistema ambiental, reduzindo sua dispersão e biodisponibilidade. A rizofiltração ocorre principalmente no sistema radicular, a fitotransformação envolve a bioconversão de um poluente orgânico em moléculas mais simples e

de menor toxicidade e a fitovolatilização envolve a biodegradação na rizosfera com translocação da substância pelos vasos condutores até as folhas, onde ocorre o processo de respiração (GONÇALVES JUNIOR et al., 2014).

Diversas espécies de plantas vêm sendo utilizadas para fitorremediação de solos contaminados por metais potencialmente tóxicos, como girassol (*Helianthus annuus*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), por apresentarem capacidade fitoextratora (BOONYAPOOKANA et al., 2005). A herbácea oleaginosa *Brassica juncea*, da família *Brassicaceae*, popularmente conhecida como mostarda indiana, vem sendo apontada como uma das espécies mais estudadas e que apresentam resultados importantes como plantas fitoextratoras (SCHIMIDT, 2003; PRASAD, FREITAS, 2003). Trata-se de espécie vegetal nativa da Europa, Índia e regiões Sul e Oeste da Ásia, sendo encontrada no Brasil nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul e consideradas plantas invasoras e ruderais (SCALON, 2002).

A mostarda é vista como uma eficiente fitorremediadora de alguns metais pesados, inclusive, sendo usada para corrigir solos contaminados por metais pesados como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e Zinco (Zn) (ROYCHOWDHURY et al., 2017).

A *Brassica juncea* é considerada uma planta tolerante a contaminantes metálicos e pode ser considerada hiperacumuladora, particularmente por absorver e acumular nos tecidos elevadas concentrações de metais, como Cd e Zn (BAKER, 1987). De acordo com Salt et al. (1995) apud Augusto et al. (2014), a mostarda (*Brassica juncea*) é capaz de acumular Pb em seus tecidos e produz quelantes nas suas raízes, enquanto o acúmulo de Cd está relacionado à taxa de transpiração e de absorção pelas raízes. De acordo com Augusto et al. (2014), plantas de *B. juncea* que receberam Pb tiveram uma absorção radicular diretamente proporcional à quantidade de metal oferecido à planta e a análise das concentrações de Pb na raiz e na parte aérea apresentou diferenças significativas de concentração deste metal, que se transloca muito pouco das raízes para a parte aérea, provavelmente em função da produção de quelantes na raiz. Santos, Rodella (2007) observaram que a absorção de teores de Zn, Cu, Mn, Pb e B na parte aérea das plantas de *B. juncea* são significativamente afetados pela presença de materiais orgânicos nos solos contaminados por metais potencialmente tóxicos.

Considerando o cenário de contaminação divulgado pela CETESB, a periculosidade que o elemento químico Chumbo (Pb) representa para os seres vivos e recursos ambientais e a possibilidade de métodos de remediação com plantas serem aplicados a fim de reduzir os impactos negativos desta contaminação, propiciando outros usos àquele solo, este trabalho avalia, do ponto de vista experimental, a germinação e o desenvolvimento de *Brassica juncea* em solo contaminado por diferentes concentrações de chumbo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido de forma experimental, a partir do desenvolvimento de um experimento para avaliar a germinação e desenvolvimento inicial de sementes de *Brassica juncea* submetidos a solos contaminados por diferentes concentrações de chumbo. Para a realização do experimento foram realizados teste de germinação, contaminação do solo com diferentes concentrações de chumbo e análise de taxa de germinação, desenvolvimento da planta a partir da obtenção de dados de crescimento da plântula e observação de parâmetros biológicos que pudessem indicar interferência do contaminante no desenvolvimento e estrutura dos tecidos vegetais.

2.1. Teste de germinação

Previamente ao plantio, foi realizado o teste de germinação para avaliar a qualidade das sementes (Figura). As sementes utilizadas são da marca TopSeed Garden, lote 050020, atestando 99% de pureza das sementes e validade até janeiro de 2019. O teste foi realizado a partir de 11 de abril de 2018, de acordo com as recomendações da Embrapa (MAKISHIMA, 1993), considerou 30 sementes, das quais 29 germinaram, conferindo às sementes testadas 97% de aproveitamento, classificando-as como de boa qualidade.

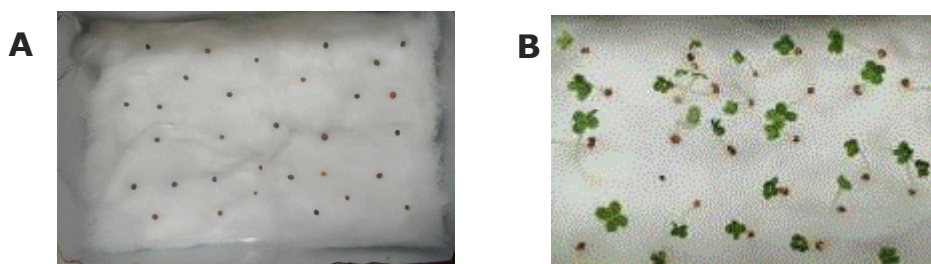


Figura 1 - Imagens do teste de germinação realizado em abril de 2018, (A) dia 1 e dia 4 (B).

2.2. Preparo das Soluções de Contaminante e das Amostras de Solo

No preparo das soluções aquosas contaminadas com acetato de chumbo foram utilizados os seguintes materiais: balança analítica, becker de 50 ml, espátula com colher, piseta, água deionizada, balão volumétrico de 500 ml, bagueta e acetato de chumbo $[(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ em grânulos.

Foi feito o cálculo da massa molar do acetato de chumbo, chegando-se a 379,244 g/mol. A partir deste valor, e considerando que nesta massa estão presentes 207,2 g/mol de Pb, foi feito o cálculo de determinação da massa necessária de acetato de chumbo a compor as soluções de 500 ml cada, para obtenção de cada uma das concentrações de chumbo das amostras, quais sejam, 18 mg/L Pb, 36 mg/L Pb, 72 mg/L Pb e 140 mg/L (Figura 2). Os valores de massa de acetato de chumbo encontram-se na Tabela 1.



Figura 2 - Soluções de acetato de chumbo nas concentrações de 18 mg/L, 36 mg/L, 72 mg/L e 140 mg/L.

Tabela 1 - Massa de acetato de chumbo por tipo de concentração de chumbo.

Concentração de chumbo em solução de 500 mL de solução de acetato de chumbo	
Concentração de Pb	Massa de acetato de chumbo
18 mg/L	0,01647295 g $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

36 mg/L	0,03294590 g (CH ₃ COO) ₂ Pb.3H ₂ O
72 mg/L	0,06589181 g (CH ₃ COO) ₂ Pb.3H ₂ O
140 mg/L	0,12812297 g (CH ₃ COO) ₂ Pb.3H ₂ O

Paralelamente, preparou-se 5 (cinco) amostras de solo, contendo cada, uma mistura de 2 partes de solo para 1 parte de composto orgânico, totalizando 1 kg, com pH de 6,9, sendo, uma amostra de controle (sem contaminante) e nas demais adicionou-se água na concentração de solução contaminada com chumbo por amostra, obtendo-se solos contaminados com 18 mg/L, 36 mg/L, 72 mg/L e 140 mg/L, respectivamente, de chumbo.

2.3. Montagem da Estufa e Preparo das sementeiras

Os experimentos foram realizados em jardim de inverno de ambiente caseiro, na Cidade de São Bernardo do Campo, no Estado de São Paulo, mantido em estufa com monitoramento de temperatura e umidade e sob luminosidade natural (Figura 3).

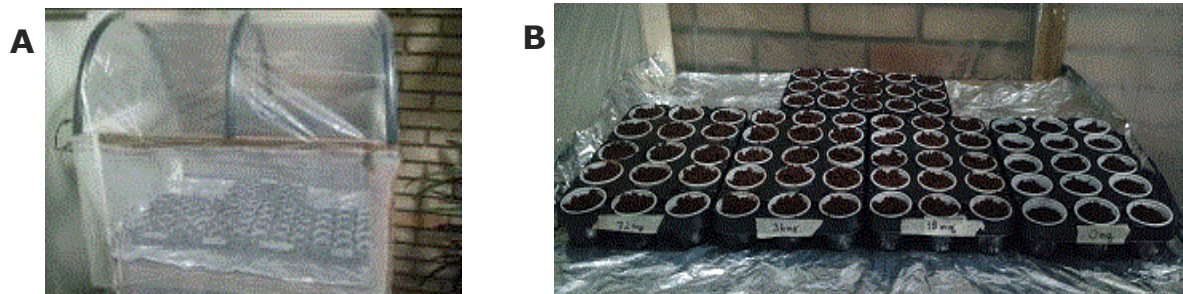


Figura 3 – Imagens do local do experimento: estufa (A), Sementeiras com respectivas concentrações de contaminante (B).

As sementes de mostarda (*Brassica juncea*) foram semeadas em 5 sementeiras de 15 células cada, com solo de composição conhecida e composto orgânico oriundo de compostagem. Cada sementeira recebeu solo contaminado com uma solução de 250 ml de acetato de chumbo [(CH₃COO)₂Pb.3H₂O] em concentrações de 18 mg/L, 36 mg/L, 72 mg/L, 140 mg/L e uma descontaminada, servindo de amostra controle (Figura 3).

Foram feitos dois plantios em épocas diferentes, sendo um em abril de 2018 e outro em maio de 2018.

Para avaliar a germinação e o desenvolvimento das plantas, foram observados os seguintes parâmetros: quantidade de exemplares germinados (em número) por concentração de contaminante (em mg/L Pb), comprimento do caule (em milímetros), coloração de folhas (verde ou amarela) e alterações morfológicas (defeituosas), os quais foram observados diariamente e anotados para posterior análise.

3. RESULTADOS

Os dados obtidos com o experimento quanto ao crescimento das plântulas são apresentados nos gráficos da Figuras 4 e 5, que foram acompanhados e anotados a partir do aparecimento da primeira plântula.

Observou-se, no primeiro plantio, que o primeiro exemplar germinado ocorreu na célula contaminada com 18 mg/L Pb e que, nos primeiros três dias de experimento (correspondente à 27.04), as sementeiras apresentaram em ordem decrescente de exemplares germinados: 14 plântulas à 18 mg/L Pb, 13 plântulas à 72 mg/L Pb, 11 plântulas à 36 mg/L Pb, 8 plântulas à 140 mg/L Pb e 6 plântulas à 0 mg/L Pb, conforme gráfico da Figura 4.

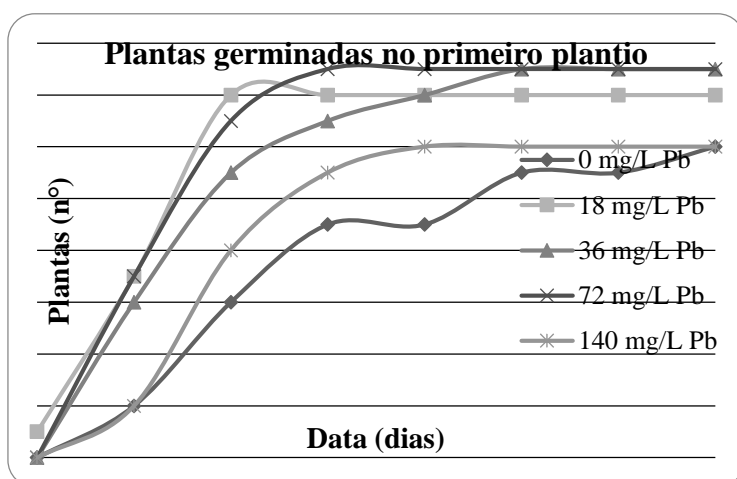


Figura 4 - Plantas germinadas no primeiro plantio.

Ao final de dez dias de experimento (correspondente à data de 04.05), tem-se: 14 plântulas à 18 mg/L Pb, 15 plântulas à 36 mg/L Pb, 15 plântulas à 72 mg/L Pb, 12 plântulas à 140 mg/L Pb e 12 plântulas à 0 mg/L Pb.

No segundo plantio, os primeiros exemplares germinados foram nas células contaminadas, sendo: 1 exemplar germinado em cada umas das sementeiras com concentrações de contaminante (18 mg/L Pb, 36 mg/L Pb, 72 mg/L Pb, 140 mg/L Pb) e nenhum exemplar na sementeira de controle (0 mg/L Pb). Nos primeiros três dias de experimento (correspondente à 27.06), as sementeiras apresentaram em ordem decrescente de exemplares germinados: 8 plântulas à 18 mg/L Pb, 6 plântulas à 140 mg/L Pb, 5 plântulas à 36 mg/L Pb, 4 plântulas à 72 mg/L Pb e 1 plântula à 0 mg/L Pb, conforme gráfico apresentado na Figura 5.

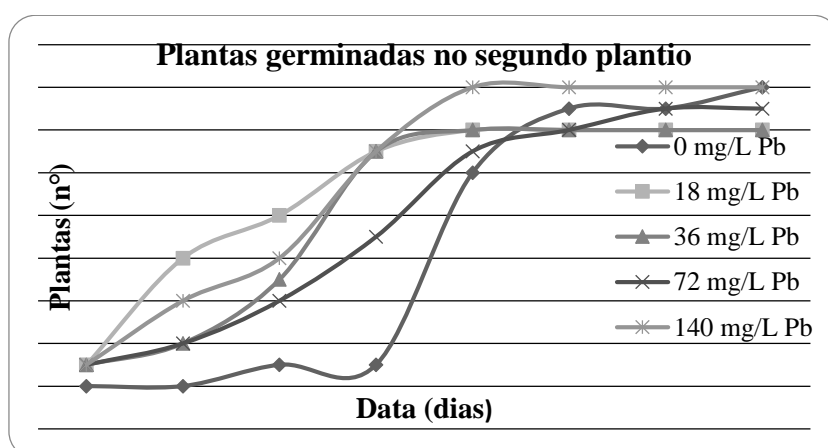


Figura 5 - Plantas germinadas no segundo plantio.

Ao final de doze dias de experimento, contados a partir da primeira germinação, as sementeiras apresentaram no total: 14 plântulas à 0 mg/L Pb, 12 plântulas à 18 mg/L Pb, 12 plântulas à 36 mg/L Pb, 13 plântulas à 72 mg/L Pb e 14 plântulas à 140 mg/L Pb.

A temperatura apresentou amplitude térmica de 1,5°C (mínima de 21°C e máxima de 22,5°C) em ambos os plantios. A umidade variou no primeiro plantio entre 80 e 88% e no segundo plantio entre 59,2% e 92%.

Com relação ao crescimento em altura das plântulas, foi feita a média das estaturas dos exemplares por dia, e por concentração de contaminante. A cada dia de coleta de dados, expressos nas datas do eixo horizontal dos gráficos, e por sementeira, media-se as alturas das plântulas germinadas, somava-se os valores e dividia-se pelo número de exemplares. Os valores finais geraram os pontos expressos nos gráficos das Figuras 6 e 7.

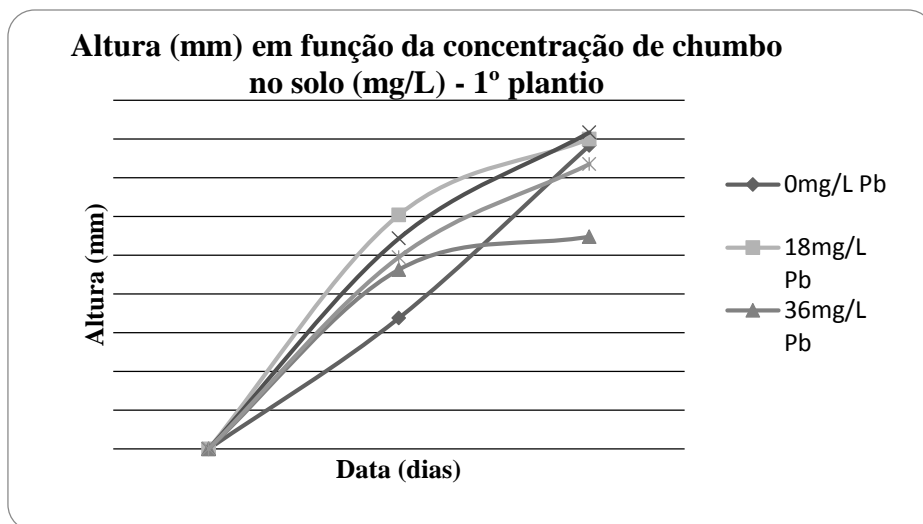


Figura 6 - Altura (em mm) das plantas, em função da concentração de chumbo no solo (em mg/L) - 1º plantio.

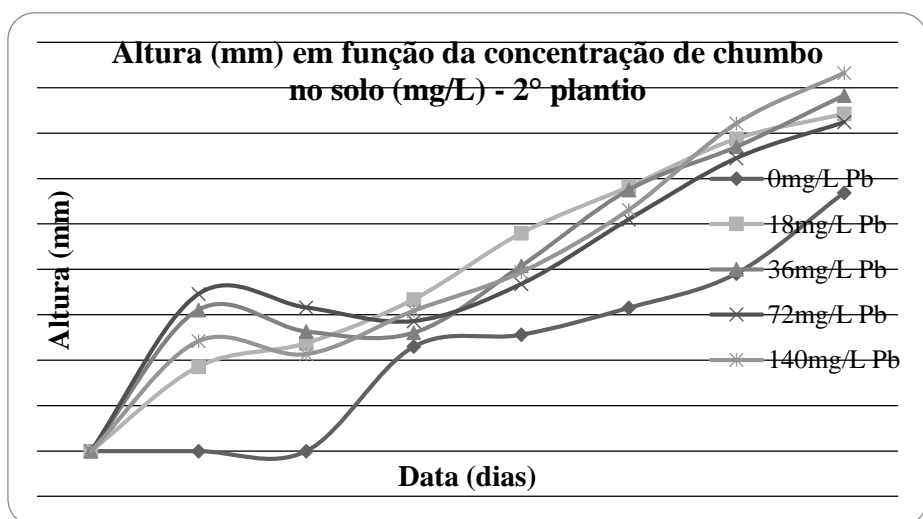


Figura 7 - Altura (em mm) das plantas, em função da concentração de chumbo no solo (em mg/L) - 2º plantio.

O gráfico da **Figura 7** apresenta pontos de queda na reta de altura de crescimento das concentrações 36 mg/L Pb, 72 mg/L Pb e 140 mg/L Pb, nos dias 27.06 e 28.06. Nestas datas os números de exemplares em estágio inicial de

crescimento (novas plântulas germinando) passou de 2 para 5 à 36 mg/L Pb, 2 para 4 à 72 mg/L Pb e 4 para 6 à 140 mg/L Pb em 27/06 e, de 5 para 11 à 36 mg/L Pb, de 4 para 7 à 72 mg/L Pb e 6 para 11 à 140 mg/L Pb em 28/06. Considerando que os primeiros exemplares, em menor número estavam mais altos, mas os novos exemplares em maior número mais baixos em altura, pode-se notar que houve diminuição do valor da altura média em relação ao dado anterior (Figura 7).

Em termos de crescimento em altura, observou-se no primeiro plantio (Figura 6) que na data de 28.04, correspondente ao sétimo dia de plantio, a média de altura das plântulas (mm), por medida de concentração de contaminante de chumbo (mg/L), em ordem decrescente, tem-se: 30,2 mm à 18 mg/L Pb, 27,17 mm à 72 mg/L Pb, 24,75 mm à 140 mg/L Pb, 23,14 mm à 36 mg/L Pb e, 16,9 mm à 0 mg/L Pb. Ao final do experimento, correspondente ao décimo sétimo dia (08.05.18), os dados apresentaram-se da seguinte forma: 40,84 mm à 72 mg/L Pb, 40 mm à 18 mg/L Pb, 39,14 mm à 0 mg/L Pb, 36,75 mm à 140 mg/L Pb e, 27,4 mm à 36 mg/L Pb.

Observou-se no segundo plantio (Figura 7), na data de 26.06, correspondente ao segundo dia de experimento, a média de altura das plântulas (mm), por medida de concentração de contaminante de chumbo (mg/L), em ordem decrescente, tem-se: 17,3 mm à 72 mg/L Pb, 15,55 mm à 36 mg/L Pb, 12,1 mm à 140 mg/L Pb, 9,3 mm à 18 mg/L Pb e, 0 mm à 0 mg/L Pb. No sexto dia de experimento, correspondente à data de 30.06, os dados apresentaram-se da seguinte forma: 24 mm à 18 mg/L Pb, 20,39 mm à 36 mg/L Pb, 19,7 mm à 140 mg/L Pb, 18,4 mm à 72 mg/L Pb e, 12,81 mm à 0 mg/L Pb. Ao final do experimento, correspondente ao décimo quarto dia (08.07.18), tem-se: 41,63 mm à 140 mg/L Pb, 39,16 mm à 36 mg/L Pb, 37,13 mm à 18 mg/L Pb, 36,21 mm à 72 mg/L Pb e, 28,45 mm à 0 mg/L Pb.

Quanto aos parâmetros morfológicos, os dados apresentam-se relacionados nas tabelas a seguir, tendo-se observado quantidade de exemplares germinados, com coloração verde clara, normais (sem deformidade na estrutura) e alteradas (com deformidade na estrutura e/ou amareladas) em cada uma das concentrações.

No primeiro plantio, cujos dados estão relacionados na Tabela 2, observou-se a presença de um total de 10 exemplares alterados, entendendo-se por estes, aqueles indivíduos que apresentaram coloração amarela e/ou forma irregular.

Tabela 2 – Aspectos morfológicos analisados durante o desenvolvimento de *Brassica juncea* no primeiro plantio.

Concentração de chumbo	0 mg/L Pb	18 mg/L Pb	36 mg/L Pb	72 mg/L Pb	140 mg/L Pb
Germinadas	12	14	14	15	12
Coloração normal das folhas	12	13	11	12	10
Morfologia normal das plântulas	12	12	12	15	10
Morfologia e coloração alterada das plântulas	0	2	3	3	2
% de alteradas	0	14,3%	21,4%	20%	16,7%

Na Tabela 3 relacionam-se os exemplares que apresentaram alterações. Tem-se: à 0 mg/L Pb nenhum exemplar apresentou coloração amarela ou defeito de formação; à 18 mg/L Pb, 2 exemplares apresentaram defeito de formação e 1 deles coloração amarela; à 36 mg/L Pb, 3 exemplares apresentaram coloração amarela e 2 deles apresentaram defeito de formação; à 72 mg/L Pb, 3 exemplares apresentaram coloração amarela; e, à 140 mg/L Pb, 2 exemplares apresentaram coloração amarela e 1 deles apresentou defeito de formação.

No primeiro experimento, o percentual de plântulas afetadas foi de 0%, na condição controle, e entre 14,3% das plântulas que cresceram em solo com 18 mg/L Pb, e 21,4%, em plântulas que se desenvolveram em solo com 36 mg/L Pb.

Tabela 3 - Relação de alterações nas plântulas do primeiro plantio.

Concentração de chumbo	Quantidade de Alterações	Descrição da alteração
0 mg/L Pb	0	Ausência de amarelas e/ou deformações.
18 mg/L Pb	2	2 apresentaram defeito de formação e 1 delas é amarela.
36 mg/L Pb	3	3 eram amarelas e 2 delas apresentaram defeito de formação.
72 mg/L Pb	3	3 eram apenas amarelas.
140 mg/L Pb	2	2 eram amarelas e uma delas apresentou defeito de formação.

No segundo plantio, cujos dados de alterações relacionam-se na Tabela 4, observou-se a presença de um total de 10 exemplares alterados, entendendo-se por estes, aqueles indivíduos que apresentaram coloração amarela e/ou forma irregular.

Tabela 4 - Aspectos morfológicos analisados durante o desenvolvimento de *Brassica juncea* no primeiro plantio.

Concentração de chumbo	0 mg/L Pb	18 mg/L Pb	36 mg/L Pb	72 mg/L Pb	140 mg/L Pb
Germinadas	13	12	12	13	13
Coloração normal das folhas	13	11	10	10	11
Morfologia normal das plântulas	13	12	10	12	12
Morfologia e coloração alterada das plântulas	0	1	3	4	3
% de alteradas	0	8,3%	25%	30,7%	23,1%

Na Tabela 5 relacionam-se os exemplares que apresentaram alterações. Observa-se o não aparecimento de exemplares com defeito de formação ou coloração amarela à 0mg/L Pb. Quanto à demais concentrações, tem-se: à 18mg/L Pb, 1 exemplar apresentou coloração amarela; à 36mg/L Pb, 2 exemplares apresentaram defeito de formação sendo 1 destes com coloração amarela e 1 exemplar apenas com coloração amarela; à 72mg/L Pb, 3 exemplares apresentaram apenas coloração amarela e 1 exemplar apresentou apenas defeito de formação; e, à 140mg/L Pb, 2 exemplares apresentaram apenas coloração amarela e 1 deles apresentou apenas defeito de formação.

Tabela 5 - Relação de alterações nas plântulas do segundo plantio.

Concentração de chumbo	Quantidade de Alterações	Descrição da alteração
0 mg/L Pb	0	Ausência de amarelas e/ou deformações.
18 mg/L Pb	1	1 apenas amarela
36 mg/L Pb	3	2 apresentaram defeito de formação e 1 delas é amarela; e 1 era apenas amarela.
72 mg/L Pb	4	3 eram apenas amarelas; e 1 apenas com defeito de formação.
140 mg/L Pb	3	2 eram apenas amarelas; e 1 apenas com defeito de formação.

No segundo experimento, o percentual de plântulas afetadas foi de 0%, na condição controle, e entre 8,3% das plântulas que cresceram em solo com 18

mg/L Pb, e 30,7%, em plântulas que se desenvolveram em solo com 72 mg/L Pb.

4. DISCUSSÃO

Com base nos resultados apresentados, avaliando-se o cenário de exemplares germinados, principalmente nos primeiros 3 dias de experimento, observa-se o atraso na germinação das plântulas controle em comparação com as sementes submetidas à algum dos níveis de contaminação com solução de Pb (18 mg/L, 36 mg/L, 72 mg/L e 140 mg/L), com destaque para a germinação das sementes submetidas ao solo contaminado com 18 mg/L Pb, que apresentou maior número de sementes germinadas em ambos os plantios (1º plantio, no terceiro dia de germinações já contava com 14 exemplares contra 1 exemplar na amostra controle; no 2º plantio, no terceiro dia de germinações contava com 8 exemplares contra 6 exemplares na amostra controle).

O parâmetro de crescimento em altura (mm) também evidenciou que a presença de concentrações de Pb no solo exerceram alguma influência em seu desenvolvimento inicial, considerando que a média de crescimento em altura (mm) no primeiro plantio foi de 35,1 mm, para plântulas crescendo em concentração de 18 mg/L Pb e de 34 mm em plântulas submetidas a concentração de 72 mg/L Pb e no segundo plantio foi de 23,22 mm, para plântulas crescendo em concentração de 18 mg/L Pb e de 22,83 mm em plântulas submetidas a concentração de 72 mg/L Pb.

Em ambos os experimentos realizados neste trabalho, nota-se que, ao menos na fase inicial, as plântulas que se desenvolveram em solo contaminado por Pb nas concentrações 18 mg/L Pb, 36 mg/L Pb, 72 mg/L Pb e 140 mg/L Pb, apresentaram maior desenvolvimento em altura e crescimento mais rápido. E esta situação foi mais evidente no segundo plantio, no qual se pode observar que plântulas que se desenvolveram na amostra de controle atingiram a média de altura de 28,5 mm, enquanto que as germinadas em solo contaminado tiveram como menor média a altura de 36,21 mm, em 72 mg/L Pb.

Este comportamento inicial de maior desenvolvimento das plântulas que se desenvolveram sob alguma concentração de chumbo, tanto em número de exemplares germinados quanto em crescimento em altura, pode estar

relacionado ao fato do chumbo, em sua forma catiônica Pb^{2+} , poder ser absorvido pelas plantas devido à sua semelhança com os metais de transição essenciais, como cobre (Cu^{2+}), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}) e zinco (Zn^{2+}), que desempenham funções importantes no crescimento das plantas (AUGUSTO et al. 2014b).

Dadas as condições observadas de temperatura e umidade relativa do ar para o plantio de hortaliças folhosas, como é o caso da mostarda indiana (*Brassica juncea*), isoladamente, tais fatores foram considerados não significativos para os resultados observados de desenvolvimento das plântulas. Isto porque a temperatura e umidade ao longo de ambos os experimentos apresentou variação dentro do intervalo descrito como favorável ($15-23^{\circ}C$) para o desenvolvimento de hortaliças folhosas (MAKISHIMA, 1993) e todo o experimento ocorreu sob as mesmas condições para todas as concentrações de chumbo e para o controle.

A hipótese de maior absorção da forma catiônica de chumbo ser absorvida no lugar de outros metais catiônicos essenciais poderia justificar os resultados observados. No entanto, para comprovação desta maior absorção, seria importante a quantificação de chumbo nos tecidos vegetais.

Outros indicadores da influência do Pb nas culturas de *Brassica juncea*, foram os parâmetros de coloração e de alteração na morfologia. Enquanto as características consideradas importantes para demonstrar efeitos deletérios no desenvolvimento da plântula, como coloração amarelada das folhas e deformação na estrutura de caule e folhas foram apenas observadas nas sementeiras onde foi utilizado algum nível de contaminante de chumbo no solo, o grupo controle apresentou aspectos morfológicos considerados normais para a *Brassica juncea*. O número de acordo com AUGUSTO et al. (2014b), a clorose em folhas jovens de plantas de mostarda tratadas com chumbo sugere que esse elemento interfere na síntese de clorofila e que, com o reduzido transporte de Fe e formação dos grupos heme para as folhas, aparece o sintoma de deficiência nutricional, provocando danos em plantas submetidas a este contaminante.

Outro aspecto observado por AUGUSTO et al. (2014b) é que a presença de teores de chumbo no cultivo de mostarda indiana ocasionou deficiência de micro e macronutrientes tanto na raiz quanto na matéria seca da planta, nutrientes estes que estão diretamente ligados a processos enzimáticos e fisiológicos, produção de clorofila e fotossíntese. Desta forma, qualquer alteração nesses

processos é passível de causar danos às plantas como a clorose das folhas e redução da produção de matéria seca, conforme se observa na Figura 9 a seguir.



Figura 9 - *Brassica juncea* submetida a dose de Pb: tratamento controle (esq.), 50 mg/L L⁻¹. Fonte: AUGUSTO et al. (2014b).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados observados, pode-se verificar que a aplicação de solução contaminada com chumbo, nas concentrações utilizadas neste estudo, provavelmente influenciou no crescimento da plântula, devido a maior altura média observada quando comparada ao grupo controle. Também pode-se observar que houve influência do chumbo no desenvolvimento das folhas das plântulas de *Brassica juncea* em estágio inicial, particularmente com relação as alterações morfológicas observadas, como clorose e má formação das folhas.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, M.G.de. *et al.* **Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - Fitoextração.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2009, vol.33, n.6, pp.1879-1888. ISSN 0100-0683. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600037>>. Acesso em: 10 mar 2018.

AUGUSTO, A.S. *et al.* **Avaliação dos efeitos tóxicos de Cd e Pb na cultura da mostarda (*Brassica juncea*).** *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 19, n. spe, p. 61-68, 2014. ISSN 1809-4457. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000500061&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 Set 2018.

AUGUSTO, A.S. et al. **Bioacumulação de Metais Pesados em *Brassica juncea*: Relação de Toxicidade com Elementos Essenciais**. Rev. Virtual Quim., v. 6, n. 5, p. 1221-1236, 2014. ISSN 1984-6835. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/default.asp?ed=17>>. Acesso em: 11 Set 2018.

BAKER, A. J. M. **Metal tolerance**. New Phytologist, London, v. 106, p. 93-111, 1987.

BOONYAPOOKANA, B.; PARKPIAN, P.; TECHAPINYAWAT, S.; DELAUNE, R. D.; JUGSUJINDA, A.J. **Phyto accumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*)**. Environmental Science Health A Toxicol Hazard Substances Environmental Engineer, v. 40, n.1, p.117-37, 2005.

CETESB, 2016. **Decisão de Diretoria N° 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016**. Dispõe sobre a aprovação dos "Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016" e dá outras providências. DOU 24 nov 2016.

CETESB, 2017. **Texto explicativo: Relação de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo**. Dez 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2018/01/Texto-explicativo.pdf>>. Acesso em: 06 mai 2018.

COSTA, E.D. **Adsorção e competição de alguns metais por ácidos húmicos extraídos de latossolo húmico da Região Araponga, Minas Gerais**. Viçosa, MG/L: UFV, 1991. 71 P. Dissertação de Mestrado.

DE SOUZA, V.; KONRAD, O.; GONÇALVES JUNIOR, A.C. **Contaminação por chumbo, riscos, limites legais e alternativas de remediação**. *Veredas do Direito*, v. 13, n. 25, p. 249 – 276. Belo Horizonte, Janeiro/Abril, 2016.

EVANGELISTA, F.S.B; SILVA, I.C.R. **Fontes de contaminação pelo Chumbo (Pb)**. *Caderno 8ª Mostra de Produção Científica da Pós-Graduação Lato Sensu da PUC Goiás [online]*. 2013, ISSN: 2176-0705. Disponível em: <<http://www.cpgls.pucgoias.edu.br/8mostra/Artigos/Caderno%208%20Mostra.pdf>>. Acesso : 09 set 2018.

GONÇALVES Jr., A. C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F.. **Heavy Metal Contamination in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers**. In: HERNANDEZ-SORIANO, Maria. C. (Ed.). *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. Ed. Intech Open, 2014.

GONÇALVES, V. C. **Cádmio, chumbo e níquel: teores em fertilizantes fosfatados e fracionamento e sorção em solos do Rio Grande do Sul**. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 147 p.

GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N. V.; CARDOSO, P.. F.; LEA P. J.; AZEVEDO R. A.. **Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment**. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.17, n. 1, p. 53-64, 2005.

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M.L.; MARCHI, G. **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos**. *Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa*, v. 4, p. 345-390, 2005.

IPCS (International Programme of Chemical Safety). **Inorganic lead**. Geneva: International Programme on Chemical Safety/WHO, 1995. (*Environmental Health Criteria*, 165).

KERTULIS-TARTAR, G.M. *et al.* **Phytoremediation of an Arsenic-Contaminated Site Using *Pteris vittata* L.: A Two-Year Study.** *International Journal os Phytoremediation [online]*. 2006, ISSN 1522-6514. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/6500848>>. Acesso: 10 mar 2018.

LAMEGO, F.P.; VIDAL, R.A. **Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição?** *Rev. De Ecotoxicologia e Meio Ambiente [online]*. 2007, vol.17. ISSN 19839847. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/pes.v17i0.10662>>. Acesso em: 10 mar 2018.

MAKISHIMA, N. **O cultivo de hortaliças.** *Coleção Plantar, 4 [online]*. 1993, pp.13-16. ISBN 85-85007-04-4. Brasília: EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/749966/o-cultivo-de-hortalicas>>. Acesso em: 09 set 2018.

MARQUES, M; AGUIAR, C.R.C.; SILVA, J.J.L.S.da. **Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]*. 2011, vol.35, n.1, pp.1-11. ISSN 0100-0683. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100001>>. Acesso em: 10 mar 2018.

MARTINS. J.; FIGUEIREDO. B.R. **Testes de mobilidade de chumbo e arsênio em solo contaminado de Apiaí (SP).** *Rev. Geochimica Brasiliensis [online]*. 2014, vol.28, n.2, ISSN 2358-2812. Disponível em: <<http://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/414>>. Acesso em: 06 abr 2018.

PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H. M. de O.. **Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology.** *Electronic Journal of Biotechnology*, v. 6, n. 3, p. 285-231, 2003.

ROYCHOWDHURY, R. *et al.* **Bioaccumulation of heavy metals in Brassica juncea: an indicator species for phytoremediation.** *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field [online]*. 2017, vol.3, ISSN 2455-0620. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/320172456>>. Acesso em: 25 mai 2018.

SANTOS, G. C. G. dos; RODELLA, A. A.. **Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de Brassica juncea.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]*. 2007, vol. 31, n. 4, pp.793-804. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000400019&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 11 ou 2018.

SCALON, V.R.; SOUZA, V.C. 2002. **Brassicaceae** In: WANDERLEY, M.G.L. et al. *Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo [online]*. Instituto de Botânica, São Paulo, vol. 2, pp: 57-64. ISBN 85-7523-053-0. Disponível em <http://botanica.sp.gov.br/institutodebotanica/files/2016/06/FFESP-Volume-II_06_24.pdf>. Acesso em: 1 set 2018.

SCHMIDT, Ulrich. **Enhancing phytoremediation: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals.** *Journal Environmental Quality*, v. 32, p. 1939–1954, 2003.

UEBEL, A. et al. **Processos de remediação do solo contaminado com chumbo.** *Rev. Caderno Pedagógico [online]*. 2017, vol.14, n.1, p.63-71. ISSN 1983-0882. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/319069809>>. Acesso em: 10 mar 2018.

Recebido em: 05/11/2018

Aceito em: 04/12/2018