



CHUMBO NAS PLANTAS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE SEUS EFEITOS, MECANISMOS TOXICOLÓGICOS E REMEDIAÇÃO

Edevaldo da Silva¹, Pedro Silva dos Santos², Maria de Fátima de Souza Guilherme²

¹ Professor Doutor da Unidade Acadêmica de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Campina Grande (edevaldos@yahoo.com.br) Paraíba-Brasil.

²Graduando do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Campina Grande (pedrosantosjs88@gmail.com) Paraíba-Brasil.

²Graduanda do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Campina Grande (fatima.souza.guilherme@gmail.com) Paraíba-Brasil.

Recebido em: 01/07/2015 – Aprovado em: 31/07/2015 – Publicado em: 21/08/2015

RESUMO

A poluição ambiental por metais pesados tóxicos é um dos graves problemas enfrentados pela população mundial, estando presente nas indústrias e nas regiões agrícolas. Dentre os metais pesados, o chumbo tem sido um dos mais tóxicos para o homem e para as plantas, causando grandes preocupações ambientais. A sua ação fitotóxica tem sido reportada na literatura científica por diversos pesquisadores, que têm verificado os seus efeitos em diversas espécies de plantas. O chumbo tende a acumular no solo provocando danos ao desenvolvimento das plantas, principalmente nos tecidos radiculares. Entretanto, uma vez absorvido pelo vegetal, pode se distribuir para os diferentes tecidos por meio de uma complexa rede de homeostase, causando distúrbios bioquímico e molecular. Apesar da alta toxicidade do chumbo, algumas espécies de plantas têm apresentado tolerância a se desenvolver em sua presença, sendo estudadas como prováveis remediadoras do solo contaminado, por meio da técnica de fitorremediação. O objetivo dessa pesquisa foi fazer uma revisão de literatura sobre os mecanismos e efeitos toxicológicos dos metais pesados, particularmente do chumbo, nas plantas, assim como apresentar técnicas atuais que buscam remediar o solo contaminado por esse metal.

PALAVRAS-CHAVE: contaminação, metal pesado, poluente.

LEAD IN PLANTS: A BRIEF REVIEW OF ITS EFFECTS, MECHANISMS TOXICOLOGICAL AND REMEDIATION

ABSTRACT

Environmental pollution by toxic heavy metals is one of the most serious issues that world populations have to cope with. In fact, it occurs in industrial and in agricultural regions. Lead is one of the most toxic for humans and plants with great damage for the environment. Phytotoxic activities have been registered in scientific literature by several researchers who reported its effects in many vegetal species. In fact, lead accumulation in the soil causes damage to the development of plants due to a greater concentration in the roots and distributes itself to several tissues. When absorbed by the plant can be distributed to different tissues by means of a complex network of homeostasis, causing molecular and biochemical disorders. Despite the

high toxicity of lead, some plant species have been tolerant of its presence and may be used in the decontamination of soil by phytoremediation. Current research is a revision of the literature on the ecotoxicological effects of heavy metals, especially lead, and present the current technical soil remediation contaminated by the metal.

KEYWORDS: contamination, heavy metal, pollutant.

INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm aumentado a deposição de metais pesados nos diversos compartimentos da biosfera (KEMERICH et al., 2014). Estes elementos químicos são metais com peso específico maior que 5 g cm^{-3} (BERTOLI, 2011), ou qualquer elemento que esteja associado a problemas de poluição (OLIVEIRA, 2008). Alguns exercem papel fundamental na nutrição mineral das plantas, como, zinco (Zn), ferro (Fe) (SILVA, 2014), cobre (Cu), cobalto (Co) (SILVA, 2007) sendo importantes como micronutriente. Porém, em níveis elevados ou substituídos por outros metais, como o chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e o cádmio (Cd) tornam-se perigosos e podem causar efeitos tóxicos ou a morte das plantas (SILVA, 2014).

Os metais pesados são poluentes do meio ambiente, sendo o chumbo potencialmente tóxico e com propriedades acumulativas no solo, provocando danos ao desenvolvimento das plantas, sendo considerado na lista da Agência de Proteção Ambiental dos EUA como o metal mais ameaçador (ATSDR, 2008). As áreas florestais, o solo e a água tem sofrido contaminações por resíduos, oriundos de atividades antrópicas, que podem conter quantidades elevadas de metais pesados (ALMEIDA et al., 2008), dessa maneira, as poluições dos campos agrícolas por esses poluentes tem sido uma preocupação ambiental (PEREIRA et al., 2013).

O mecanismo de toxidez nas plantas envolve uma rede complexa de mobilização e absorção do solo pelas raízes e transporte, sequestro e distribuição no espaço intracelular da planta (CLEMENS et al., 2002), com efeitos em níveis bioquímicos e moleculares que podem provocar desequilíbrio na homeostase de metais essenciais (SHARMA & DUBEY, 2005), danos a biomoléculas, estresse oxidativo e, conseqüentemente, efeitos no desenvolvimento da planta (HOSSAIN et al., 2011).

Dessa maneira, as plantas cultivadas em ambientes com excesso de chumbo têm o crescimento e desenvolvimento afetados (SOUZA et al., 2011). Pesquisas relacionadas a assimilação de metais pesados por plantas tem constatado que esse metal pode ocasionar conseqüências negativas relacionadas ao crescimento do vegetal (SOUZA et al., 2011) e na germinação de sementes, podendo restringir a produtividade de clorofila e causar danos ao material genético e mudanças do funcionamento enzimático da planta (RIBEIRO et al., 2015).

Atualmente, diversos estudos têm avaliado técnicas para remediar os solos contaminados pelo chumbo (TANG et al., 2015), seja no próprio ambiente (*in situ*) ou transportando o solo para serem tratado fora do seu ambiente (*ex situ*). Entretanto, as técnicas *in situ* são consideradas mais impactantes ao ambiente. Dentre as técnicas *in situ*, a fitorremediação tem sido muito estudada com a pesquisa de espécies de plantas com provável tolerância a se desenvolver em solo contaminado por esse metal (OLIVEIRA et al., 2014; ALMEIDA, 2014; GOUVEIA et al., 2015).

O objetivo dessa pesquisa foi fazer uma revisão de literatura sobre os mecanismos e efeitos toxicológicos dos metais pesados, particularmente do

chumbo, nas plantas, assim como apresentar técnicas atuais que buscam remediar o solo contaminado por esse metal.

REVISÃO DE LITERATURA

Contaminação ambiental por metais pesados

A degradação ambiental aumentou a preocupação com os efeitos tóxicos de metais pesados (MORAES, 2011) no solo, podendo causar consequências graves a saúde da população por consequente contaminação das plantas (ATSDR, 2008) e, comprometer a sustentabilidade da produção agrícola.

Os metais pesados podem originar-se de fontes naturais, tais como o vulcanismo, redistribuição por ação eólica ou hídrica (KLEIN & HOEHNE, 2015). Mas, a contaminação ambiental por fontes antrópicas tornou-se um problema grave (SILVA, 2014; OLIVEIRA & JUCÁ; 2014). Essas fontes são de diversas atividades, tais como: mineração, atividades industriais, aplicação de fertilizantes em atividades agrícolas (ALMEIDA et al., 2008; AUGUSTO et al., 2014), lodo de esgoto e compostos orgânicos provenientes da reciclagem do lixo urbano (MORAES, 2011).

A deposição de resíduos no solo contendo metais com alto potencial tóxico aumenta as concentrações biodisponíveis no ambiente (SILVA, 2014), podendo causar sérios danos ambientais (SILVA, 2006) devido ao alto poder de toxicidade desses poluentes (BERTOLI, 2011). Além disso, o solo contaminado é uma ameaça à biodiversidade, pois, ele é essencial para o crescimento das plantas e a degradação de matéria morta, necessária para que haja a ciclagem de nutrientes (SILVA, 2006).

As indústrias são as principais fontes dessa poluição, descarregando resíduos não tratados em rios ou lagos (OLIVEIRA, 2007) no solo e na atmosfera (GONÇALVES, 2009). Dentre os principais metais utilizados em áreas de desenvolvimento industrial estão o cádmio, chumbo, cromo, níquel, mercúrio, zinco, arsênio e ferro (PINO, 2005). Dentre as atividades industriais, a metalúrgica de metais pesados é uma das que causa mais poluição, contaminando toda a área ao seu redor, destruindo a vida vegetal que não resiste aos poluentes (ANDRADE et al., 2009).

A mineração é outra atividade desenvolvida pelo homem que, como uma forma de sobrevivência e obtenção de lucro, a maioria das pessoas que trabalhavam nesse ambiente não possuíam conhecimentos sobre os danos que essa atividade poderia causar ao ambiente (POLETTI et al., 2014). Essa atividade pode provocar a destruição da cobertura vegetal e consequente degradação do solo, promovendo erosão dos solos, a lixiviação dos metais para o lençol freático (SOUZA & REISSMANN, 2009), provocando aumento nas concentrações dos metais pesados no ambiente aquático (OLIVEIRA, 2007).

A lixiviação e o deslizamento de terras de mineração, contaminadas por metais, também podem contaminar lençóis freáticos e as plantas, alcançando assim outras áreas (PRESTON et al., 2014). O uso intenso e inadequado de fertilizantes na agricultura, que podem conter metais pesados na composição química, provoca o aumento da poluição do solo (RANGEL et al., 2006), e consequente acúmulo em solos agrícolas podem afetar as plantas em níveis fitotóxicos (SILVA et al., 2007). Esses efeitos dependem da concentração, combinação ou efeito acumulativo desses compostos presentes nos fertilizantes (SILVA, 2006).

A possibilidade de contaminação do solo por metais pesados está relacionada com os processos de adsorção que é a passagem da fase líquida para sólida e; dessorção desses elementos, que são influenciados por diversos fatores ambientais (BERTOLI, 2011).

Os metais pesados presentes no solo podem sofrer reações químicas e bioquímicas que afetam a disponibilidade e toxicidade para as plantas (BERTOLI, 2011). A concentração e subsequente acúmulo desses elementos nos tecidos vegetais depende principalmente da disponibilidade no solo (SILVA, 2006). A toxidez causada pela presença de metal pesado pode ser observada por diversas alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA, 2006), provocando mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e estruturais nos vegetais (MORAES, 2011). Os metais pesados do grupo de elementos metálicos, semi-metálicos e o selênio, são poluentes químicos que podem causar efeitos negativos adversos à biota (CHAVES, 2013).

Chumbo: características, fontes e níveis de concentrações no ambiente

O chumbo é um elemento metálico, branco prateado, altamente maleável, não corrosivo, (SILVA, 2014), potencialmente tóxico, produzido a partir de minérios tais como a cerrusita ($PbCO_3$), anglesita ($PbSO_4$) e galena (PbS), sendo este último a mais importante fonte de chumbo (MAZUCCO, 2008). Possui baixo ponto de fusão, alta densidade, e com manuseio industrial bastante simples (GONÇALVES, 2009).

O chumbo é um dos metais tóxicos conhecidos pelo homem com qual se tem mais contato no dia-a-dia, e entre os seus usos estão a produção de ligas (bronze, latão), fabricação e recuperação de baterias, esmaltação de cerâmicas, fabricação de pigmentos, PVC e outros plásticos, borrachas, vidros, cabos elétricos, soldas de peças, e chapas elétricas (GRIGOLETTO, 2011), usado em projéteis de armas de fogo, fertilizantes e pesticidas, aditivo em combustíveis, e como refrigerante após ser fundido (SILVA, 2014). Por isso, devido à sua ampla aplicação em diversos produtos da sociedade moderna, ele pode ser encontrado em todos os ambientes terrestres (WEI et al., 2014).

A deposição de metais pode ser a partir da atmosfera, ou mobilizados pelo solo e água (GERHARDSSON et al., 2012). Na crosta terrestre, o chumbo é um metal abundante (BERTOLI, 2011), apresentando concentração média nos solos de $10-20 \text{ mg kg}^{-1}$, na atmosfera com concentração natural estimada em cerca de $0,0005 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e em águas superficiais em torno de $0,02 \text{ } \mu\text{g/L}$ (GONÇALVES, 2009). O nível de toxidez de chumbo para as plantas varia entre $30-300 \text{ mg kg}^{-1}$ (OLIVEIRA, 2008).

Foi estimado que a cada ano, é despejado diretamente na atmosfera um total de 330 mil toneladas de chumbo, onde cerca de 20% das partículas de chumbo são dispersas pelo ar, sendo considerado como principal via de dispersão do metal, podendo ser carregadas pela chuva e acumular no solo e na água (CAPELLINI et al., 2013). Dependendo de fatores como a localização geográfica e nível de emissão na área, cerca de 40-70% da deposição do chumbo ocorre por precipitação úmida, com uma razão anual de precipitação de $0,18 \times 10^{-6}$, considerada baixa comparando-se com outros metais estudados (FERNANDES et al., 2011).

No solo os níveis de chumbo variam em regiões de tráfego intenso e industriais sendo mais elevado do que em regiões mais isoladas (CAPELLINI et al., 2013). A contaminação do solo por metais pesados acontece quando a quantidade

do metal exposto ao ambiente supera a capacidade do solo em retê-lo, sendo absorvido pelas plantas ou carregado para os lençóis freáticos, contaminando as águas (FERNANDES et al., 2011).

A população mundial vem sofrendo um grave problema de contaminação do solo e do ar provocado pelo acúmulo de chumbo, visto que é um processo cumulativo, com concentrações variando a partir do valor de alerta de 72 mg kg⁻¹ e 180, 300 e 900 mg kg⁻¹ para intervenção em áreas agrícolas, residencial e industrial, respectivamente (MORAES, 2011). Em latossolos brasileiros são relatados teores médios de Pb em torno de 17 mg kg⁻¹ (ALCÂNTARA et al., 2011). Os metais pesados acumulam no solo, principalmente na camada superficial de 0-20 cm, onde facilmente entra em contato com as raízes das plantas (BERTOLI, 2011). A Organização Mundial da Saúde sugere 10 µg L⁻¹ (48,3 nmol L⁻¹) como limite tolerável de chumbo em água, sendo este valor também adotado no Brasil, por meio da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (GRIGOLETTO et al., 2012).

Mecanismo de toxicidade do chumbo nas plantas

O conhecimento de uma rede da homeostase dos metais no organismo vivo é recente (CLEMENS, 2001). A acumulação dos metais nas plantas envolve um processo complexo. Segundo CLEMENS et al. (2002, p. 311), o mecanismo molecular para a transição de metais do solo para os tecidos das plantas possui as seguintes etapas (Figura 1):

- a. Os íons metálicos são mobilizados pela secreção de quelantes e por acidificação da rizosfera.
- b. A absorção de íons metálicos hidratados ou complexos de metal-quelato é mediada por vários sistemas de captação presentes na membrana plasmática. Dentro da célula, os metais são quelados e o excesso de metal é sequestrado por transporte no vacúolo.
- c. Nas raízes, os metais de transição são transportados para a parte aérea pelo xilema. Provavelmente, a maior parte atinge o xilema através da raiz do simplasto. A passagem apoplástica pode ocorrer na ponta da raiz. Dentro do xilema, metais estão presentes como íons hidratados ou como metal-quelato complexos.
- d. Depois de atingir o apoplasto da folha, os metais são diferencialmente capturados pelas folhas e move-se, célula-a-célula, através plasmodesma. O armazenamento parece ocorrer, preferencialmente, nos tricomas.
- e. A captação para as células da folha é catalisada por vários transportadores intracelulares, tal como os metalocaperones para os metais essenciais.

A absorção de metal em excesso pelas plantas pode provocar o estresse oxidativo nas células (LI et al., 2012), causando, indiretamente, a redução da concentração de ácidos graxos, tais como o ácido palmítico e linolênico em *Hydrilla verticillata* exposta ao chumbo (NESTEROV et al., 2009) e a redução drástica de alfa-linolenico em folhas de *Populus nigra* quando se desenvolveram na presença do chumbo (LE GUÉDARD et al., 2012).

As plantas possuem dois mecanismos principais para se desenvolverem sob a condição desse estresse oxidativo, são eles (WANG et al., 2011):

1. Sistema antioxidante enzimático, representados principalmente por catalase, superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e glutatona redutase;
2. Sistemas não enzimáticos que incluem tocoferóis, ácido ascórbico e metabólitos secundários (fenóis e voláteis).

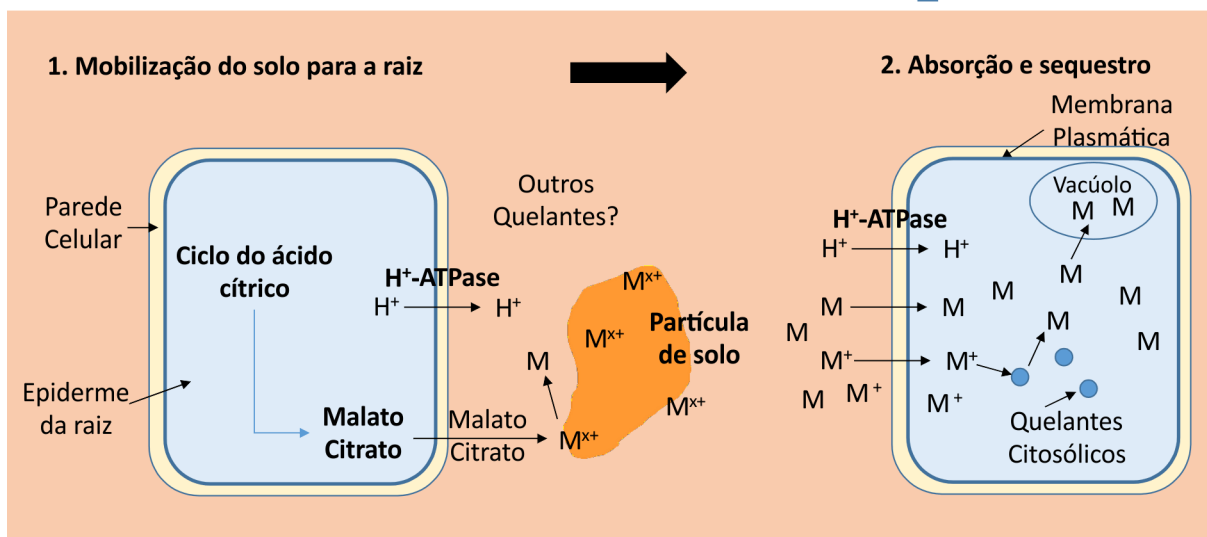
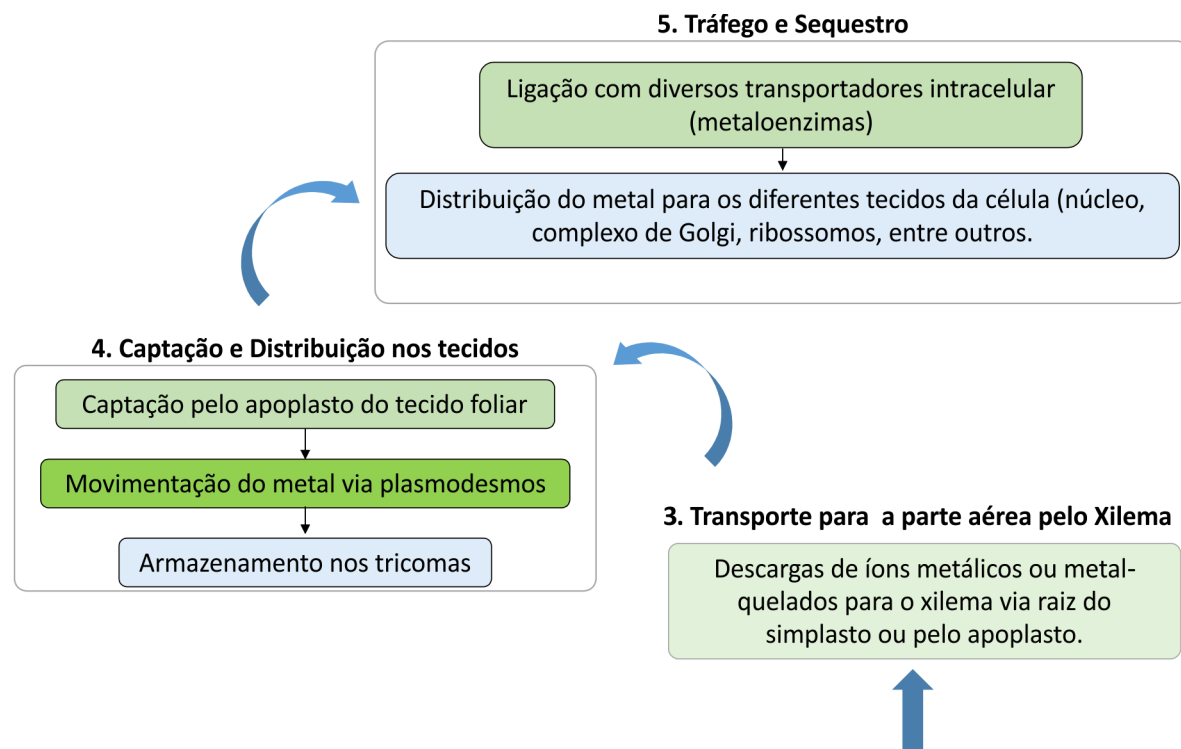


FIGURA 1. Proposta para o mecanismo molecular do acúmulo do metal na planta. Legenda: M: metal. Fonte: Os autores, adaptado de CLEMENS et al. (2002).

Uma vez que a planta acumula metais pesados, tal como o chumbo, em suas células, podem ocorrer diversos efeitos em nível bioquímico e molecular. HOSSAIN et al. (2011), propõem um mecanismo bioquímico e molecular da indução dos metais pesados ao estresse oxidativo e efeitos negativos em plantas superiores (Figura 2).

Nessa proposta, o metal pesado é inicialmente mobilizado, sequestrado e

armazenados nas células, semelhante ao proposto por CLEMENS et al. (2002), interferindo na homeostase de metais essenciais, causando danos a níveis moleculares (proteínas e DNA) e consequentes distúrbios metabólicos devido ao mal funcionamento dessas biomoléculas. Esses distúrbios podem induzir ao estresse oxidativo nas células, provocando danos fisiológicos perceptíveis, tais como a inibição do crescimento da planta.

As plantas expostas ao chumbo podem apresentar altas concentrações de fenóis, produzidos como estratégia não enzimática de lidar com o estresse oxidativo provocado pelo metal. O aumento da concentração de fenóis foi observado por WANG et al. (2011) em *Vallisneria natans* exposta ao chumbo. Há evidências de que o aumento da concentração de fenóis pode contribuir com a remoção do metal nos tecidos da planta por contribuir com a remoção do oxigênio reativo e com a quelação do metal (PAWLIK-SKOWRÓNSKA & BACKOR, 2011).

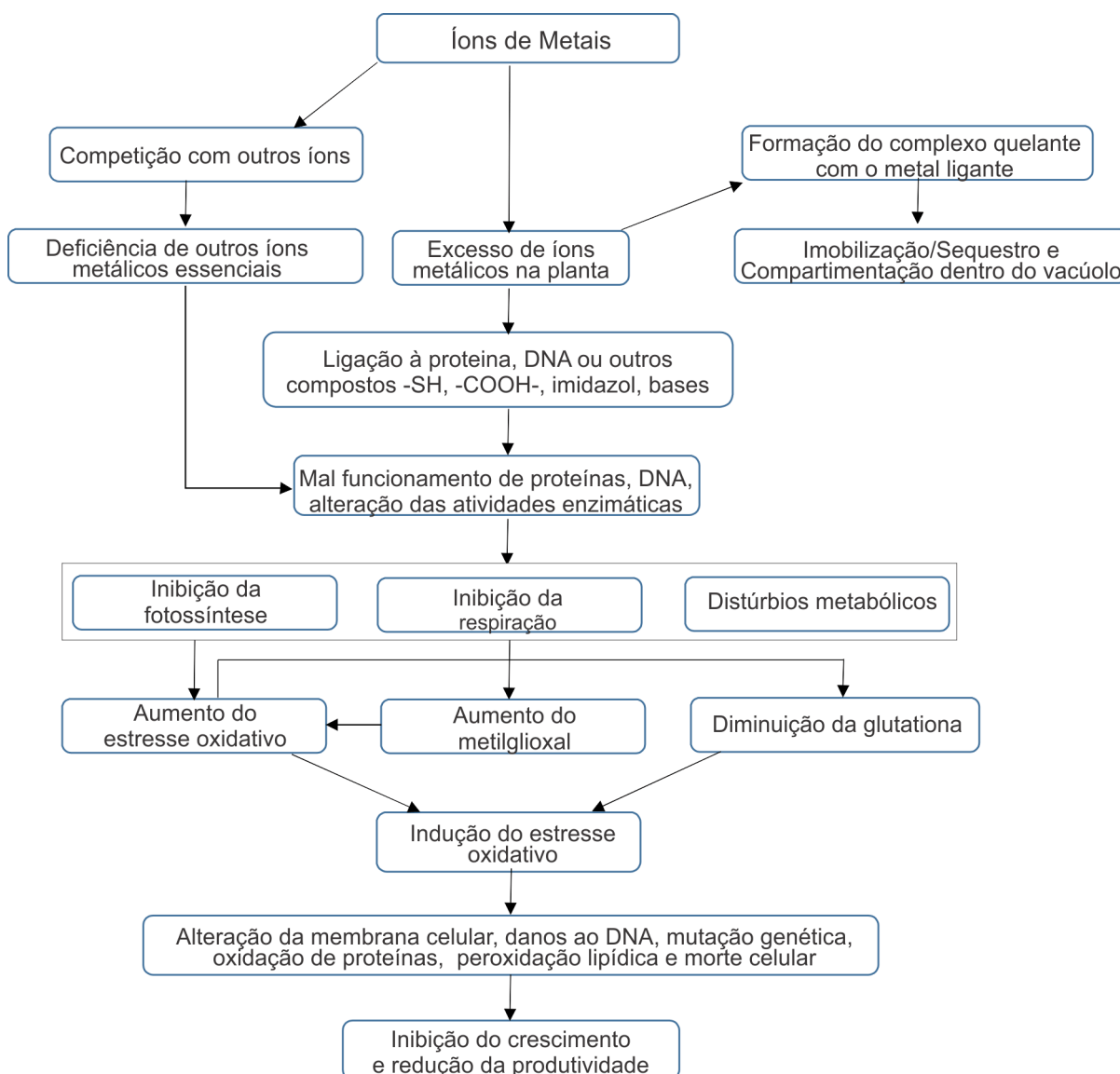


FIGURA 2. Provável mecanismo bioquímico e molecular da indução dos metais pesados ao estresse oxidativo e efeitos negativos em plantas superiores. Fonte: Hossain et al., (2011).

Efeitos toxicológicos nas plantas

O chumbo é um elemento não essencial para a planta, com alta toxicidade e capacidade de se acumular no organismo (CHAVES, 2013). A sua 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 (MORAES, 2011). As plantas que crescem em solos contaminados por chumbo apresentam efeitos fisiológicos, bioquímicos e estruturais, como clorose foliar, modificações nas atividades enzimáticas (RIBEIRO et al., 2015), 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).

A Tabela 1 relaciona algumas pesquisas que reportaram efeitos ecotoxicológicos em diferentes espécies de plantas, sob diferentes concentrações experimentais. Observou-se que a tolerância dessas espécies à presença do chumbo é variável e, conseqüentemente, os seus efeitos negativos. Cada espécie de planta apresenta variação no grau de tolerância ou sensibilidade a metais pesados, podendo absorver quantidade suficiente para causar danos aos tecidos da planta e ao desenvolvimento (SILVA, 2006). O chumbo tende a se acumular preferencialmente nos tecidos radiculares (SILVA, 2014), afetar a entrada de água e a nutrição das plantas resultando em redução do crescimento da raiz e da parte aérea (ROSSATO, 2010; SILVA, 2014).

Um dos fatores mais sensíveis ao nível tóxico do chumbo é a fotossíntese (GARG & AGGARWAL, 2011), por provocar a redução da taxa fotossintética (LIMA et al., 2013) e organização do cloroplasto, e causar alterações em várias enzimas e em antioxidantes que tem a função de proteção dos vegetais (ROSSATO, 2010). O teor de chumbo absorvido e acumulado nos tecidos das plantas é muito variável entre as espécies, e suas variedades, por depender de propriedades fisiológicas da cultura e de fatores ambientais como o pH, tamanho das partículas do solo, capacidade de troca de cátions, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes (LIMA, 2010a).

A absorção durante o desenvolvimento germinativo varia de acordo com as diferenças na estrutura da semente e, quando o tegumento é rompido, o metal é rapidamente absorvido e acumulado nas regiões meristemáticas das raízes e do hipocótilo, comprometendo o desenvolvimento vegetal (MORAES, 2011). Entretanto, o tegumento pode ser uma proteção maior da semente na absorção de chumbo, isso foi observado, por exemplo, em sementes de *L. sativa*, que apresentou tolerância maior ao chumbo, provavelmente, devido à proteção tegumentar, entretanto, o chumbo inibiu o crescimento radicular a partir da concentração de 1,0 mM (PEREIRA et al., 2013; Figura 3).

Além dos efeitos acima citados, o chumbo pode provocar a redução na porcentagem de germinação, decréscimos no índice de velocidade de germinação e retarda o crescimento de mudas (SHARMA & DUBEY, 2005), alterar estruturas e permeabilidade da membrana celular e causar distúrbios na nutrição mineral das plantas (LIMA et al., 2013).

TABELA 1. As concentrações de chumbo que causaram efeitos tóxicos no desenvolvimento de plântulas de várias espécies de plantas relatadas na literatura.

Espécie	Concentração de Chumbo	Efeitos tóxicos (redução)	Referência
<i>Salsola passerina</i>	0, 50, 150, 300, 600, 800, 1000 mg/L	50 mg/L - percentual de germinação, energia de germinação, IVG.	Rui Hu et al. (2012)
<i>Chenopodium album</i> L.	0, 50, 150, 300, 600, 800, 1000 mg/L	50 mg/L - energia de germinação, IVG, 150 mg/L - percentual de germinação.	Rui Hu et al. (2012)
<i>Spinacia oleracea</i> L.	0 - 500 mg kg ⁻¹	500 mg kg ⁻¹ - Estresse oxidativo e proteotoxicidade nas plântulas.	Wang et al. (2011)
<i>Matricaria chamomilla</i>	0, 5, 30, 60, 120 e 180 mM	60 mM - germinação, crescimento da raiz e da parte aérea, massas fresca e seca.	Saderi; Zarinkamar, (2012)
<i>Ulmus pumila</i> L.	20, 50 e 90 µM	20 µM - Capacidade germinativa, comprimento da raiz.	Đukić et al. (2014)
<i>Brassica rapa</i> var. turnip	1,0; 2,5 e 5,0 g/L	1,0 g/L – IVG. 2,5 g/L - Crescimento médio da plântula, percentual de germinação.	Siddiqui et al. (2014)
<i>Lactuca sativa</i> L.	0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 5,0 mM	1,0 mM - Crescimento da plântula. 2,0 mM - Plântulas normais.	Pereira et al. (2013)
<i>Triticum aestivum</i> L.	0; 0,15; 0,3; 1,5 e 3,0 mM	0,3 mM - Percentual de germinação. 1,5 mM - Biomassa, crescimento da raiz e das folhas, esterase. 0,15 mM - Quantidade de proteína, prolina, α-amilase.	Lamhamdi et al. (2011)
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.)	25, 50, 75, 100 ppm	50 ppm - Percentual de germinação, crescimento das raízes. 25 ppm - Peso seco das plântulas.	Shafiq et al., (2008)

IVG: Índice de velocidade de germinação; IVE: Índice de velocidade de emergência.

...Continuação da **Tabela 1**.

Espécie	Concentração de Chumbo	Efeitos tóxicos (redução)	Referência
<i>Lens culinaris Medic.</i>	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 e 4,5 mM	0,5 mM - Percentual de germinação, índice de vigor e comprimento da radícula.	Cokkizgin; Cokkizgin (2010)
<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>	0,25; 0,5 e 0,75 mM	0,5 mM - IVE. 0,25 mM - Comprimento da plântula. 0,75 mM - Percentual de germinação.	Moraes et al., (2014)
<i>Sinapis arvensis L.</i>	150, 300, 600, 750, 900, 1200, 1500 μ M	150 mM - Percentual de germinação, comprimento da raiz, peso fresco e peso seco. 300 mM - Comprimento da parte aérea.	Heidari; Sarani (2011)
<i>Thespesia populnea L.</i>	5, 10, 15, 20, 25 μ mol/L	20 μ mol/L - Comprimento da radícula. 25 μ mol/L - Comprimento da parte aérea e do peso seco e inibição do crescimento das plântulas.	Kabir et al., (2010)
<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	2, 4, 6, 8 g Kg ⁻¹	2 g Kg ⁻¹ - Percentual de germinação, comprimento da radícula e da parte aérea, peso seco e fresco.	Bhardwaj et al., (2009)
<i>Albizia lebbek L. Benth</i>	10, 30, 50, 70, 90 μ mol/L	10 μ mol/L - germinação e comprimento de mudas. 30 - Biomassa seca. 50 μ mol/L - Comprimento da raiz.	Farooqui et al., (2009)
<i>Brassica juncea</i>	0,00; 2,50; 10,00; 50,00, 100,00 mg.L ⁻¹	50 mg.L ⁻¹ - Matéria seca das plântulas.	Augusto et al., (2014)
<i>Triticum aestivum L.</i>	200, 500, 1000, 2000 μ M	200 μ M - Crescimento das raízes e parte aérea. 2000 μ M - Inibição do crescimento da raiz e parte aérea.	Dey et al. (2007)



FIGURA 3. Plântulas de *Lactuca sativa* submetidas aos efeitos do chumbo às concentrações de (esquerda para a direita) 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 5,0 mM de chumbo. Fonte: Pereira et al. (2013).

A concentração de chumbo varia de órgão para órgão, e tende a decrescer na seguinte ordem: raízes > folhas > caules > flores > sementes, mas, de acordo com a espécie, essa ordem pode ser alterada, e dentro da raiz este padrão de concentração é variável (SILVA, 2014).

Remediação do chumbo no ambiente

A remediação do chumbo no solo também é uma grande preocupação. Diante da degradação ambiental provocada pelos metais pesados, vários métodos têm sido empregados para remediar a contaminação do solo (SOUZA et al., 2011), e recuperar os ecossistemas degradados (OLIVEIRA, 2010). A redução da emissão pelas indústrias por meio de sua adsorção dependem do uso de técnicas caras que usam adsorventes como o carvão ativado e resina de troca iônica que são difíceis de serem adaptadas para o tratamento em larga escala das águas residuais (KOBYA et al., 2005).

A imobilização do metal por biossorção ou precipitação por meio de alterações inorgânicas ou orgânica também tem sido pesquisada (HE et al., 2013; PARK et al., 2011; TANG et al., 2015). Dentre as técnicas propostas, para pequenos volumes de solos altamente poluídos, estão a lavagem e o aterro sanitário (FEDJE et al., 2013). Entretanto, são técnicas *ex situ* que podem causar efeitos negativos ao ambiente e ao ecossistema.

Diversos estudos têm reportado resultados experimentais da biossorção do chumbo presente em efluentes de baterias (CHAKRAVARTY et al., 2010), de galvanoplastia (MACHADO et al., 2010); de mineração de ouro (BENAVENTE et al., 2011), de efluentes industriais (VIMALA et al., 2011) e de efluentes laboratoriais (VIJAYARAGHAVAN & BALASUBRAMANIAN, 2013; VIJAYARAGHAVAN & JOSHI, 2013). Entretanto, algumas dessas técnicas ainda estão em escala laboratorial, necessitando de adaptação para escala ambiental, com custos viáveis para serem desenvolvidas.

A biodetecção e a fitorremediação, são outras alternativas. Nestas técnicas, utiliza-se microrganismos que mantenha a resistência e homeostase quando

absorvem concentrações de chumbo do ambiente (ANSARY et al., 1995) sendo que alguns podem sinalizar a presença do chumbo por meio da bioluminescência, por exemplo (JOUANNEAU et al., 2011). A fitorremediação é uma técnica *in situ*, que causa menos impactos ambientais e pode ser aplicada para áreas maiores. Elas são menos caras, porém, menos eficientes (PULFORD & WATSON, 2003), utiliza plantas e organismos com capacidade de absorção de metal pesado, removendo-o do solo.

Essa técnica apresenta várias vantagens, tais como: custo baixo, usa energia solar, permite a reciclagem dos metais e evita a erosão do solo por meio dos processos de escavação, além de ser uma solução permanente (ROSSATO, 2010). É uma técnica que pode ser desenvolvida por meio de cinco processos fisiológicos distintos: fitoextração, fitoestabilização, fitodegradação, fitovolatilização e rizodegradação (BATISTA, 2013). As descrições de cada um desses processos estão relacionadas na Tabela 2.

Diversas plantas têm capacidade de acumular metais pesados, e para que essas espécies possam ser utilizadas como um possível fitorremediador de metal é preciso estudos que comprovem o potencial de tolerância a essas substâncias (OLIVEIRA, 2010). Algumas espécies com esse provável potencial são ilustradas na Figura 4.

TABELA 2. Descrição das técnicas de fitorremediação estudadas atualmente para a remediação de metais pesados no solo.

Processo Fisiológico	Descrição/Referência
Fitoextração	Se baseia na identificação de plantas hiperacumuladoras (PEREIRA, 2010), e no acúmulo do metal na parte aérea da planta (SOUZA et al., 2011). Essas plantas precisam ter potencial para extrair o metal do solo, transportar para a parte aérea, acumular grande quantidade, apresentar rápido crescimento e fácil cultivo (BOURLEGAT et al., 2008).
Fitoestabilização	É utilizada a associação das plantas com fungos micorrízicos arbusculares que imobilizam o metal contaminante nas raízes e no solo, reduzindo o teor de metal disponível e a contaminação para áreas não contaminadas (SOUZA et al., 2011).
Fitodegradação	Consiste em degradar o metal presente nas raízes ou na parte aérea através do anabolismo e catabolismo realizado dentro das células vegetais por enzimas específicas (LIMA, 2010b).
Fitovolatilização	Se baseia em planta ou microrganismos que volatizam o metal, degradando-o na raiz ou após o transporte por toda a planta, liberando-o para a atmosfera.
Rizodegradação	Consiste na absorção, concentração e precipitação do metal pelas raízes da planta (LIMA, 2010b).

Vários trabalhos reportam estudos em espécies de plantas utilizadas como possível fitorremediador de chumbo, por exemplo, *Pistia stratiotes* (OLIVEIRA, 2010), *Leucaena leucocephala* (BOURLEGAT et al., 2008), *Eichhornia crassipes* (PEREIRA, 2010; OLIVEIRA et al., 2014), *Stizolobium aterrimum* (SOUZA et al., 2011), *Pluchea sagittalis* (ROSSATO, 2010), *Ricinus communis* (LIMA, 2010b), *Helianthus annuus* (LIMA, 2010), *Canavalia ensiformis* (ROMEIRO et al., 2007), *Mucuna aterrima* (SANTOS et al., 2012), *Jatropha curcas* (GOUVEIA et al., 2015), *Salvinia auriculata* (ALMEIDA, 2014).

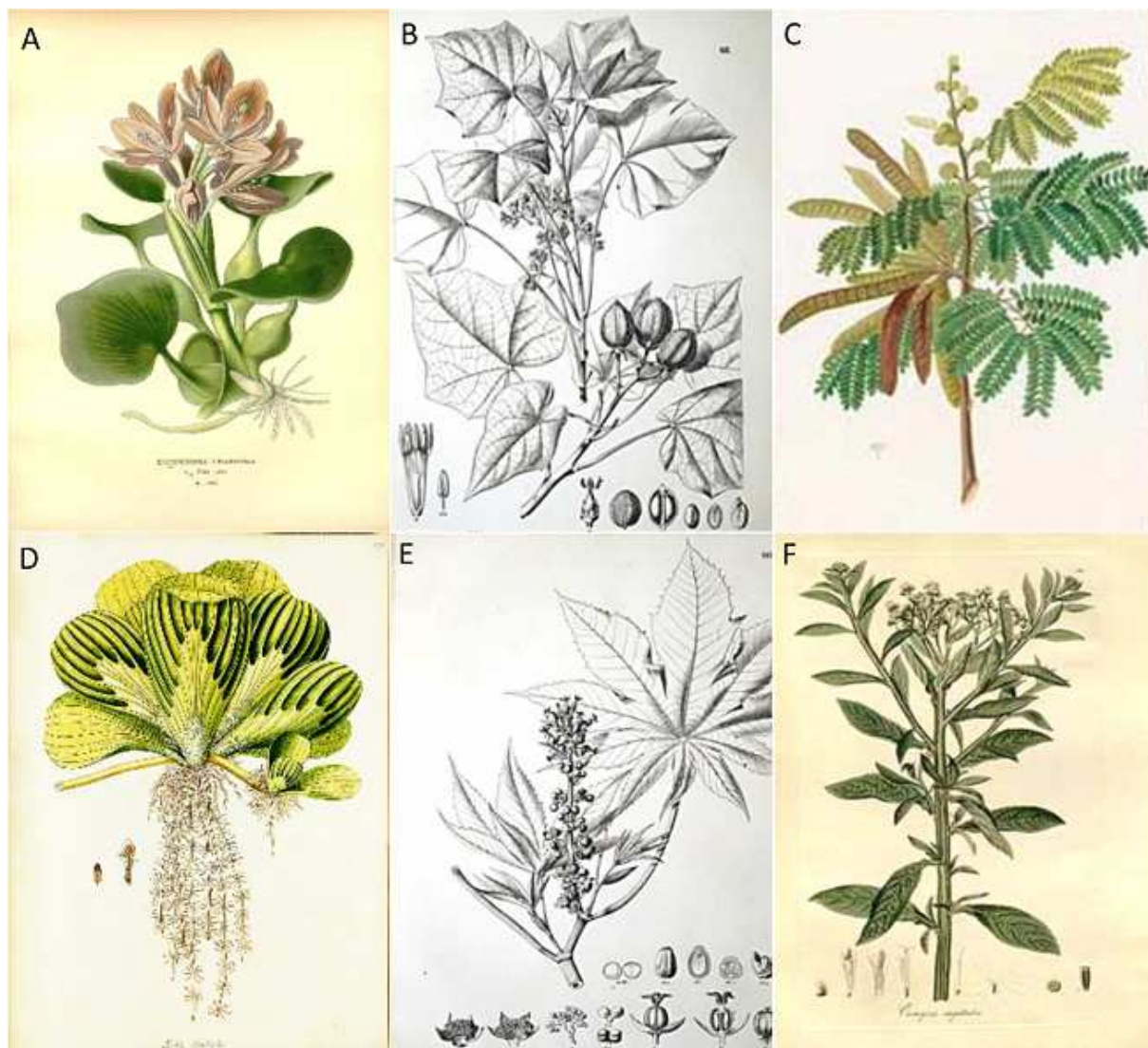


FIGURA 4. Ilustrações botânicas de algumas espécies reportadas na literatura como prováveis fitorremediadoras de chumbo no solo.

Legenda: A: *Eichhornia crassipes*; B: *Jatropha curcas* L.; C: *Leucaena leucocephala*; D: *Pistia stratiotes*; E: *Ricinus communis*; F: *Pluchea sagittalis*. Fontes: B, E, F: Projeto Flora Brasilensis florabrasiliensis.cria.org.br; A, C, D: plantillustrations.org.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O chumbo provoca diversos processos bioquímicos e moleculares nas células das plantas, sendo reportada pesquisas de seus efeitos tóxicos no desenvolvimento das plantas. Vários fatores favorecem essa toxicologia e absorção, principalmente, quanto ao tipo de espécie que está sendo exposta. Dentre os tecidos vegetais, a raiz é um dos tecidos que mais o acumula.

O chumbo pode influenciar o estabelecimento inicial das plântulas, causando efeitos negativos na produtividade agrícola em solo que tenha esse metal em excesso. Entretanto, algumas espécies têm apresentado alta tolerância a esse

metal, sendo usadas em estudo de fitorremediação, uma das técnicas mais promissoras para remediar áreas de solos poluídos por chumbo.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, A. J. D. O.; PIERANDELI, M. A. P.; SOUZA, C. A. D.; SOUZA, J. B. D. Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 539-548, 2011.

ALMEIDA, E. L.; MARCOS, F. C. C.; SCHIAVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; ABREU, M. F. Crescimento de feijão-de-porco na presença de chumbo. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 569-576, 2008.

ALMEIDA, G. W. **Avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Salvinia auriculata* Aublet na presença de Cádmiio e Chumbo**. 2014. 57f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: II - formas e disponibilidade para plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, n. 6, p. 1889-1898. 2009.

ANSARI, A. Z.; BRADNER, J. E.; O'HALLORAN, T. V. DNA-bend modulation in a repressor-to-activator switching mechanism. **Nature**, v. 374, n. 6520, p. 371-375, 1995.

ATSDR - **Agency for Toxic Substances & Disease Registry**. 2008. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/05list.html>>.

AUGUSTO, A. S.; BERTOLI, A. C.; CANNATA, M. G.; CARVALHO, R.; BASTOS, A. R. R. Avaliação dos efeitos tóxicos de Cd e Pb na cultura da mostarda (*Brassica juncea*). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. spe, p. 61-68, 2014.

BATISTA, A. A. **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo**. 2013. 57f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas, 2013.

BENAVENTE, M.; MORENO, L.; MARTINEZ, J. Sorption of heavy metals from gold mining wastewater using chitosan. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 42, n. 6, p. 976-988, 2011.

BERTOLI, A. C. **Efeitos do cádmio e do chumbo no crescimento, translocação e teor de nutrientes tomateiro (*Lycopersicum esculentum*) cultivado em solução nutritiva**. 2011. 95p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BHARDWAJ, P.; CHATURVEDI, A. K.; PRASAD, P. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Natural Sciences**, v. 7, n. 8, p. 63-75, 2009.

BOURLEGAT, J. M. G.; ROSSI, S. C.; CHINO, C. E., SCHIAVINATO, M. A.; LAGÔA, A. M. M. A. Tolerância de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. ao metal pesado chumbo. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 1017-1019, 2008.

CAPELLINI, V. L. M. F.; RODRIGUES, O. M. P. R.; MELCHIORI, L. E.; VALLE, T. G. M. Crianças contaminadas por chumbo: Estudo comparativo sobre desempenho escolar. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 19, n. 39, p. 155-180, 2013.

CHAKRAVARTY, P.; SARMA, N. S.; SARMA, H. P. Removal of lead (II) from aqueous solution using heartwood of Areca catechu powder. **Desalination**, v. 256, n. 1, p. 16-21, 2010.

CHAVES, C. L. **Avaliação das concentrações de metais pesados em áreas de deposições de lixo no Município de Ji-Paraná – Rondônia**. 2013. 63f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia ambiental) - Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2013.

CLEMENS, S. Molecular mechanisms of plant metal homeostasis and tolerance. **Planta**, v. 212, n. 4, p. 475-486, 2001.

CLEMENS, S.; PALMGREN, M. G.; KRÄMER, U. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. **Trends in plant science**, v. 7, n. 7, p. 309-315, 2002.

COKKIZGIN, A.; COKKIZGIN, H. Effects of lead (PbCl₂) stress on germination of lentil (*Lens culinaris* Medic.) lines. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 50, p. 8608-8612, 2010.

DEY, S. K.; DEY, J.; PATRA, S.; POTHAL, D. Changes in the antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in wheat seedlings exposed to cadmium and lead stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 1, p. 53-60, 2007.

ĐUKIĆ, M.; ĐUNISIJEVIĆ-BOJOVIĆ, D.; SAMUILOV, S. The influence of cadmium and lead on *Ulmus pumila* L. seed germination and early seedling growth. **Archives of Biological Sciences**, v. 66, n. 1, p. 253-259, 2014.

FAROOQI, Z. R.; IQBAL, M. Z.; KABIR, M.; SHAFIQ, M. Toxic effects of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Albizia lebbek* (L.) Benth. **Pakistan Journal of Botany**, v. 41, n. 1, p. 27-33, 2009.

FEDJE, K. K.; YILLIN, L.; STRÖMVALL, A. Remediation of metal polluted hotspot areas through enhanced soil washing—evaluation of leaching methods. **Journal of environmental management**, v. 128, n. 15, p. 489-496, 2013.

FERNANDES, J. D.; DANTAS, E. R. B.; BARBOSA, J. N.; BARBOSA, E. A. Estudo

de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 7, n. 1, p. 231-255, 2011.

GARG N, AGGARWAL N. Effects of interactions between cadmium and lead on growth, nitrogen fixation, phytochelatin, and glutathione production in mycorrhizal *Cajanus cajan* (L.) Millsp. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 30, n. 3, p. 286-300, 2011.

GERHARDSSON, L.; OSKARSSON, A.; SKERFVING, S. CHUVA ÁCIDA—EFEITOS SOBRE OLIGOELEMENTOS E A SAÚDE HUMANA. **InterfacEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, p. 64-74, 2012.

GONÇALVES, M. F. **Variação temporal e espacial da presença dos metais pesados (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn) na bacia do rio Barigüi e identificação de suas fontes potenciais**. 2009. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

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

GRIGOLETTO, T. L. B. **Chumbo na água de consumo de Ribeirão Preto (SP): fatores químicos, físicos e possíveis correlações com a contaminação de crianças**. 2011. 83p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GRIGOLETTO, T. L.; FUZARI, B. H.; ANDRADE, A. R.; CAMPOS, M. L. A.; GERLACH, R. F.; SANTOS, J. E. T. Fatores químicos e físicos que afetam a contaminação por chumbo e cobre em água potável: uma abordagem para o estudo de caso em química analítica. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 1-7, 2012.

HE, M.; SHI, H.; ZHAO, X.; YU, Y.; QU, B. Immobilization of Pb and Cd in contaminated soil using nano-crystallite hydroxyapatite. **Procedia Environmental Sciences**, v. 18, p. 657-665, 2013.

HEIDARI, M.; SARANI, S. Effects of lead and cadmium on seed germination, seedling growth and antioxidant enzymes activities of mustard (*Sinapis arvensis* L.). **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 6, n. 1, p. 44-47, 2011.

HOSSAIN, M. A.; PIYATIDA, P.; SILVA, J. A. T.; FUJITA, M. Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1-37, 2012.

HU, R.; SUN, K.; SU, X.; PAN, Y.; ZHANG, Y.; WANG, X. Physiological responses and tolerance mechanisms to Pb in two xerophils: *Salsola passerina* Bunge and *Chenopodium album* L. **Journal of Hazardous Materials**, v. 205-206, p. 131-138, 2012.

JOUANNEAU, S.; DURAND, M. J.; COURCOUX, P.; BLUSSEAU, T.; THOUAND, G. Improvement of the identification of four heavy metals in environmental samples by using predictive decision tree models coupled with a set of five bioluminescent bacteria. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 7, p. 2925-2931, 2011.

KABIR, M.; IQBAL, M. Z.; SHAFIQ, M.; FAROOQI, Z. R. Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, n. 4, p. 194-199, 2010.

KEMERICH, P. D. C.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; GERHARDT, A. E.; FLORES, B. A.; RODRIGUES, A. C.; BARROS, G. Indicativo de contaminação ambiental por metais pesados em aterro sanitário. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 3744-3755, 2014.

KLEIN, F. C.; HOEHNE, L. Determinação de chumbo em solo de uma antiga fábrica de acumuladores elétricos e proposta de remediação. **Destques Acadêmicos**, v. 6, n. 4, p. 66-75, 2015.

KOBYA, M.; DEMIRBAS, E.; SENTURK, E.; INCE, M. Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from apricot stone. **Bioresource technology**, v. 96, n. 13, p. 1518-1521, 2005.

LAMHAMDI, M., BAKRIM, A., AARAB, A., LAFONT, R., SAYAH, F. Lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth. **Comptes Rendus Biologies**, v. 334, n. 2, p. 118-126, 2011.

LE GUÉDARD, M.; FAURE, O.; BESSOULE, J-J. Early changes in the fatty acid composition of photosynthetic membrane lipids from *Populus nigra* grown on a metallurgical landfill. **Chemosphere**, v. 88, n. 6, p. 693-698, 2012.

LI, X.; YANG, Y.; ZHANG, J.; JIA, L.; LI, Q.; ZHANG, T.; QIAO, K.; MA, S. Zinc induced phytotoxicity mechanism involved in root growth of *Triticum aestivum* L. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 86, p. 198-203, 2012.

LIMA, A. M. **Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto à remoção de chumbo e tolueno em efluentes sintéticos**. 2010. 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010b.

LIMA, F. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ACCIOLY, A. M. A.; SOUSA, C. S.; FILHO, F. F. C. Bioconcentração de chumbo e micronutrientes em hortaliças cultivadas em solo contaminado. **Revista Ciências Agrônômica**, v. 44, n. 2, p. 234-241, 2013.

LIMA, F. S. **Bioconcentração de chumbo e zinco em partes comestíveis de hortaliças cultivadas em solos contaminados**. 2010. 89f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010a.

MACHADO, M. D.; SOARES, H. M. V. M.; SOARES, E. V. Removal of chromium,

copper, and nickel from an electroplating effluent using a flocculent brewer's yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae*. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 212, n. 1-4, p. 199-204, 2010.

MAZZUCO, K. T. M. **Uso da *Canavalia ensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo**. 2008. 187p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MORAES, C. L. **Alterações bioquímicas, fisiológicas e ultra estruturais em sementes e plantas de tomate expostas ao chumbo**. 2011. 70f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

MORAES, C. L.; MARINI, P.; FERNANDO, J. A., MORAES, D. M., CASTRO, L. A. S.; LOPES, N. F. Alterações fisiológicas e ultraestruturais de plântulas de tomate induzidas por chumbo. **IHERINGIA, Série Botânica**, v. 69, n. 2, p. 313-322, 2014.

NESTEROV, V. N.; ROZENTSVET, O. A.; MURZAEVA, S. V. Changes in lipid composition in the tissues of fresh-water plant *Hydrilla verticillata* induced by accumulation and elimination of heavy metals. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 56, n. 1, p. 85-93, 2009.

OLIVEIRA, A. P.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; MÓDENES, A.; BRAGIÃO, M.; BEZERRA, I. Avaliação da influência do fósforo na bioacumulação do chumbo pela *Eichhornia crassipes*. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 539-544, 2014.

OLIVEIRA, C. **Características morfoanatômicas e fisiológicas na avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Pistia stratiotes* L. na presença de cádmio, chumbo e arsênio**. 2010. 163p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

OLIVEIRA, L. R. **Metais pesados e atividade enzimática em Latossolos tratados com lodo de esgoto e cultivados com milho**. 2008. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2008.

OLIVEIRA, M. R. **Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais**. 2007. 149p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PARK, J.H.; LAMB, D.; PANEERSELVAM, P.; CHOPPALA, G.; BOLAN, N.; CHUNG, J. W. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, n. 2, p. 549-574, 2011.

PAWLIK-SKOWROŃSKA, B.; BAČKOR, M. Zn/Pb-tolerant lichens with higher content of secondary metabolites produce less phytochelatin than specimens living in unpolluted habitats. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 1, p. 64-

70, 2011.

PEREIRA, F. J. **Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface d' água cultivados na presença de arsênio, cádmio e chumbo.** 2010. 116p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 36-43, 2013.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*Cocos nucifera*).** 2005. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

POLETTI, G. D.; ETHUR, E. M.; HOEHNE, L. Determinação de cádmio e chumbo em solos usados em plantações de erva-mate sem e com diferentes tipos de manejo na região sul do país. **Destques Acadêmicos**, v. 6, n. 4, p. 59-65, 2014.

PRESTON, W.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; JUNIOR, V. S. S.; SILVA, W. R.; FERREIRA, H.A. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira De Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 1028-1037, 2014.

PULFORD, I. D.; WATSON, C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. **Environment international**, v. 29, n. 4, p. 529-540, 2003.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J. F. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 583-594, 2006.

RIBEIRO, E. S.; PEREIRA, M. P.; CASTRO, E. M.; BARONI, G. D. R.; CORRÊA, F. F.; PEREIRA, F. J. Relações da anatomia radicular na absorção, no acúmulo e na tolerância ao chumbo em *Echinodorus grandiflorus*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 605-612, 2015.

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**, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.

ROSSATO, L. V. **Efeitos bioquímicos e fisiológicos do chumbo em plantas de quitoco (*Pluchea sagittalis*): Possível papel fitorremediador.** 2010. 83p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica toxicológica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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.

SADERI, S.; ZARINKAMAR, F. The effect of different Pb and Cd concentrations on seed germination and seedling growth of *Matricaria chamomilla*. **Advances in Environmental Biology**, v. 6, p. 1940-1943, 2012.

SANTOS, C. H.; OLIVEIRA GARCIA, A. L.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S.; RIGOLIN, I. M.; NOVAIS SPÓSITO, T. H. Utilização da mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) para a fitorremediação de solo contaminado por chumbo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 3, p. 215-221, 2012.

SHAFIQ, M.; IQBAL, M. Z.; MOHAMMAD, A. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 12, n. 3, p. 61-66, 2008.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian journal of plant physiology**, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2005.

SIDDIQUI, M. M.; ABBASI, B. H.; AHMAD, N.; ALI, M.; MAHMOOD, T. Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and growth and DPPH-scavenging activity in *Brassica rapa* var. turnip. **Toxicology and Industrial Health**, v. 30, n. 3, p. 238-249, 2014.

SILVA, M. A. V. **Avaliação fisiológica da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) sob déficit hídrico com vista para o reflorestamento**. 2007. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, M. L. S. **Avaliação do comportamento de elementos traços essenciais e não essenciais em solo contaminado sob cultivo de plantas**. 2006. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 527-535, 2007.

SILVA, P. R. C. **Avaliação da fito-e genotoxicidade do chumbo em *Lactuca sativa* L.** 2014. 180p. Dissertação (Mestrado em Genética Molecular Comparativa e Tecnológica) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2014.

SOUZA, L. A.; ANDRADE, S. A. L.; SOUZA, S. C. R.; SCHIAVINATO, M. A. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1441-1451, 2011.

SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1879-1888, 2009.

TANG, X., LI, X., LIU, X., HASHMI, M. Z., XU, H. J., BROOKES, P. C. Effects of inorganic and organic amendments on the uptake of lead and trace elements by *Brassica chinensis* grown in an acidic red soil. **Chemosphere**, v. 119, p. 177-183, 2015.

TANGAHU, B. V.; ABDULLAH, S. R. S.; BASRI, H.; IDRIS, M.; ANUAR, N.; MUKHLISIN, M. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2011, p. 1-31. 2011.

VIJAYARAGHAVAN, K.; BALASUBRAMANIAN, R. A comparative evaluation of sorbents for the treatment of complex metal-bearing laboratory wastewaters. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n. 3, p. 473-479, 2013.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M. Hybrid Sargassum-sand sorbent: A novel adsorbent in packed column to treat metal-bearing wastewaters from inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 48, n. 13, p. 1685-1693, 2013.

VIMALA, R.; DAS, N. Mechanism of Cd (II) adsorption by macrofungus *Pleurotus platypus*. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 2, p. 288-293, 2011.

WANG, C.; GU, X.; WANG, X.; GUO, H.; GENG, J.; YU, H.; SUN, J. Stress response and potential biomarkers in spinach (*Spinacia oleracea* L.) seedlings exposed to soil lead. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 74, n. 1, p. 41-47, 2011.

WEI, W., LIU, X., SUN, P., WANG, X., ZHU, H., HONG, M., MAO, Z., ZHAO, J. Simple whole-cell biodetection and bioremediation of heavy metals based on an engineered lead-specific operon. **Environmental science & technology**, v. 48, n. 6, p. 3363-3371, 2014.

WÓJCIK, M.; TUKIENDORF, A. Accumulation and tolerance of lead in two contrasting ecotypes of *Dianthus carthusianorum*. **Phytochemistry**, v. 100, p. 60-65, 2014.