

Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* L. em solo contaminado por chumbo

Phytoextractor potential of plant species *Helianthus annuus* L. in soil contaminated with lead

Panthy Michelle BOFFE [1](#); Rubens Perez CALEGARI [2](#); Daiane C. R. de SOUZA [3](#); Priscila Soraia da CONCEIÇÃO [4](#); Denise Andreia SZYMCZAK [5](#); Dinéia TESSARO [6](#)

Recibido: 06/09/16 • Aprobado: 01/10/2016

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Material e métodos](#)
 - [3. Resultados e Discussão](#)
 - [4. Conclusões](#)
- [Referências](#)

RESUMO:

O chumbo é um metal pesado com alto grau de toxicidade aos seres vivos e muito presente na vida do homem, devido à larga utilização em processos agrícolas e principalmente industriais. O emprego de espécies vegetais na remediação de áreas contaminadas tem recebido atenção de profissionais do ramo, por se tratar de uma técnica alternativa às práticas tradicionais de descontaminação, cujo grande destaque é a alta eficiência associada ao baixo custo. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial fitoextrator e a produção de biomassa do girassol quando cultivado em solo contaminado por chumbo, proveniente de uma antiga recicladora de baterias. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e seis repetições. Após 60 dias do início do processo de fitorremediação, verificou-se redução significativa da biomassa seca e fresca do girassol cultivado em solo contaminado. Quanto à absorção de chumbo pela planta, verificou-se significativo acúmulo do metal no tecido vegetal, no entanto, as maiores concentrações de chumbo foram verificadas no sistema radicular da planta, com baixa

ABSTRACT:

Lead is a heavy metal with a high degree of toxicity to living beings. It is also very present in human life due to its wide use, mainly in agricultural and industrial processes. As an alternative to traditional decontamination practices, the use of plant species in the remediation of contaminated areas has received considerable attention from professional in the field especially because of its high efficiency associated with low cost. This study aimed to evaluate the phytoextractor potential and biomass production when sunflower is grown in lead contaminated soil. The soil contamination was caused by lead waste from a former battery recycling plant. The experimental design was completely randomized, with two treatments and six replications. After 60 days into the phytoremediation process, there was a significant reduction in fresh and dry biomass of the sunflower growing in contaminated soil. The results also shows metal accumulation in plant tissue caused by lead absorption, however, larger lead concentrations were observed in the root system with low translocation to the shoot. Therefore, at the end of the phytoremediation process, it was found that the

translocação para a parte aérea. Desta forma, ao final do processo de fitorremediação, constatou-se que o girassol é uma espécie vegetal com potencial para aplicação do mecanismo de fitoextração.

Palavras-chave: fitorremediação, girassol, metais pesados, áreas contaminadas.

sunflower is a plant species with potential for application of phytoextraction mechanism.

Key-words: phytoremediation, sunflower, heavy metals contaminated areas

1. Introdução

Os metais pesados não são essenciais aos seres vivos, além de não apresentarem funções nos organismos, causam efeitos deletérios em vários componentes da biota, como é o caso do Cd, As, Cr, Pb, Hg. Diante disso, a elevada concentração de metais pesados no solo constitui-se em um problema ambiental e de saúde pública, tornando-se as principais substâncias contaminantes do solo, água e vegetais (MARCHI *et al.*, 2009).

Além de sua característica tóxica, quando em altas concentrações, os metais pesados também apresentam potencial bioacumulador no organismo dos seres vivos. Segundo Baird & Cann (2011), suas concentrações tendem a aumentar progressivamente ao longo da cadeia alimentar, por se tratar de um elemento cujas características não permitem sua total degradação pelos organismos vivos.

Concentrações tóxicas de chumbo são frequentemente encontradas em efluentes agrícolas, minas e em atividades de indústrias metalúrgicas, às vezes, até nos recursos naturais destinados para o consumo humano (ATSDR, 2011; LYUBENOVA *et al.*, 2013; RODRIGUEZ-HERNANDEZ *et al.*, 2015).

Considerado um metal não essencial ao organismo humano, o chumbo, quando em altas concentrações, pode desencadear efeitos nocivos sobre o sistema nervoso, causando dores de cabeça, convulsões, delírios e tremores musculares. Além disso, pode agir sobre o sistema gastrointestinal, provocando náuseas e vômito, bem como danos renais e problemas de fertilidade (PAOLIELLO & CHASIN, 2001; BOSSO & ENZWEILER, 2008).

Nos sistemas vegetais, a presença de chumbo pode causar disfunções bioquímicas, morfológicas e fisiológicas, que afetam a fotossíntese, o DNA (SHAHID *et al.*, 2011; GALLEGO *et al.*, 2012), a variedade e quantidade de ácidos orgânicos secretados (RASCIO & NAVARIZZO, 2011; NIU, *et al.*, 2012), aumentar a suscetibilidade a doenças, como a clorose e a necrose foliar, além da redução do crescimento das raízes e parte aérea (PEREIRA *et al.*, 2013). Entretanto, algumas espécies de plantas são capazes de sobreviver e adaptar-se em ambientes contaminados com metais pesados, além de serem capazes de remover grandes quantidades dos poluentes, caracterizando-se como plantas fitorremediadoras (DAZY *et al.*, 2009; NADGÓRSKA-SOCHA *et al.*, 2015).

A fitorremediação é uma técnica de descontaminação da água e do solo, que associa o emprego de plantas, de sua microbiota, do solo e de práticas agrônômicas que, em conjunto, possam garantir a remoção ou imobilização de contaminantes do ambiente (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000; MONQUEIRO *et al.*, 2013). Considerada uma técnica relativamente barata, de fácil aplicação e sustentável quando comparada a métodos químicos utilizados para a remoção de metais pesados presentes no solo (ERNST, 2000; WENZEL, 2009; ZALEWSKA, 2012; ZALEWSKA & NOGALSKA, 2014). Nos últimos 20 anos, essa tecnologia tornou-se popularmente empregada em solos contaminados por diversos poluentes, tais como: chumbo, urânio, arsênio, cromo, entre outros (ULLAH *et al.*, 2011), tendo se tornado uma alternativa economicamente viável e esteticamente aceitável (PILON-SMITS, 2005; LONE, *et al.*, 2010; NADGÓRSKA-SOCHA *et al.*, 2015).

Uma planta fitoextratora ideal deve ter como principais características a tolerância à alta concentração do poluente presente no solo, rápido crescimento, baixa exigência de água, eficiência na remoção do poluente, não ser invasiva e apresentar certa resistência a pragas e doenças, bem como, possuir baixa exigência de insumos e ser de fácil colheita (HERZIG *et al.*, 2014). A eficiência da fitoextração pode ser aprimorada ao utilizar cultivares selecionadas e

geneticamente melhoradas, aliada a boas técnicas de cultivo (NEHNEVAJOVA *et al.*, 2009; VANGRONSVELD *et al.*, 2009; HERZIG *et al.*, 2014).

As plantas de girassol (*Helianthus annuus L.*) podem ser utilizadas para remediação de solos contaminados com metais pesados, sendo plantas capazes de remover grandes quantidades de chumbo, cobre (YEH *et al.*, 2015) e zinco, além de tolerar altas concentrações de metais no solo (ZALEWSKA & NOGALSKA, 2014; HERZIG *et al.*, 2014). Adicionalmente, o girassol é sabidamente uma planta produtora de óleo, o qual pode ser utilizado para a produção de biocombustível, permitindo, desta forma, melhorar o balanço econômico do processo de fitorremediação (NEHNEVAJOVA *et al.*, 2005; YEH *et al.*, 2015).

Considera-se ainda como umas das principais vantagens do uso de girassol nos processos de fitorremediação o fato da planta apresentar ciclo vegetativo curto, aproximadamente 110 dias entre plantio e colheita (LIMA, 2010) e poder ser cultivada em diferentes tipos de solo, variações de temperatura e pH. Com grande importância econômica, o girassol apresenta baixa incidência de doenças e pragas, contribuindo para o aumento da eficiência da fitorremediação e facilitando os trabalhos de manejo (LIMA, 2010; MARIANO & OKUMURA, 2012).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fitoextrator e a produção de biomassa dogirassol, quando cultivado em solo contaminado por chumbo, proveniente de uma antiga recicladora de bateria.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido de agosto a outubro de 2014, em casa de vegetação localizada no viveiro municipal de Francisco Beltrão – PR. Para o estudo de fitoextração, foram coletados a uma profundidade de 0-20 cm, aproximadamente 30 kg de Latossolo Vermelho contaminado por chumbo, proveniente da área de uma antiga recicladora de baterias localizada na região rural do município de Marmeleiro -PR, nas imediações da Rodovia BR 280 (26° 09' 36.17" S; 53° 02' 15.12" O).

O clima local é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), segundo classificação de Köppen-Geiger (EMBRAPA, 2006; FRANCISCO BELTRÃO, 2012). A área contaminada por chumbo, de onde foi extraído o solo em estudo, encontra-se abandonada há mais de 5 anos devido ações movidas pelo Ministério Público e pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), em decorrência de altos níveis de chumbo encontrados no solo pelo manuseio e destinação inadequada dos resíduos durante a reciclagem das baterias.

Além do solo contaminado, também foi utilizado 30 kg de solo não contaminado, que correspondeu à testemunha e serviu como parâmetro na comparação do desenvolvimento do girassol quando cultivado sob as mesmas condições. Este, foi coletado a 0-20 cm de profundidade nas dependências do campus da UTFPR-FB (26°05'03,80" S; 53°04'57,73" O), em área de preservação permanente. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e distribuídas em vasos de polietileno contendo 5 kg de solo em cada.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. Sendo seis unidades destinadas ao plantio de girassol em solo contaminado e seis unidades em solo testemunha, perfazendo um total de doze unidades experimentais.

Para o conhecimento das características iniciais, previamente ao cultivo da espécie de interesse, foi pesado 0,5 kg de solo de ambas amostras, as quais foram submetidas a análises físico-químicas de rotina (Embrapa, 2009) e determinação da concentração de chumbo por espectrofotometria de absorção atômica (Tabela 1).

Tabela 1: Atributos físico-químicos do solo

Atributos químicos		
g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmolc kg ⁻¹

	pH	MO	P	S	AL	H+AL	Ca	Mg	K	SB	CTC	
Solo contaminado	5,0	19	15	131	18,3	59	174	81	2,1	257	317	
Testemunha	5,7	18	3	16	0,0	41	64	30	2,9	98	139	
	Atributos químicos							Atributos físicos				
	%		mg kg⁻¹						g kg⁻¹			
	V	M	Mn	Cu	Fe	Zn	B	Pb	Areia	Argila	Silte	
Solo contaminado	81	7	106,3	25,5	136	22,8	0,35	1.989,62	179	330	491	
Testemunha	0	84,1	1	6,3	28	3,4	0,22	2,2	-	-	-	

Fonte: Laboratório de análises agrícolas e ambientais Ltda – Agrilab (2014);
Laboratório de Análises Físico-químicas – Nucleotec (2014).

O experimento foi conduzido durante 60 dias. As mudas de girassol foram produzidas a partir de sementes, as quais foram cultivadas em substrato comercial para plantas (Humus Fértil) e mantidas em estufa telada. O raleio e a transferência das mudas para os vasos de polietileno de 5 L cada, ocorreram 12 dias após o plantio, quando as mudas já apresentavam o primeiro par de folhas e certa rigidez do caule. Após o raleio, as plantas foram irrigadas duas vezes por dia através de um sistema de irrigação automatizado por aspersão implantado no viveiro. A temperatura média dentro da estufa durante o período do experimento variou entre 25°C e 30°C.

Transcorridos 60 dias após o início do processo de fitorremediação, as plantas foram avaliadas quanto aos seguintes parâmetros fitométricos: Comprimento de raiz (CR), Comprimento da Parte aérea (CPA), Número de folhas (NF), Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Fresca da Raiz (MFR), Massa Fresca Total (MFT), Diâmetro do coleto (DC), Massa Seca de Raiz (MSR), Massa Seca de Parte Aérea (MSPA) e Massa Seca Total (MST).

A determinação dos parâmetros CR e CPA foram realizados com auxílio de régua graduada em milímetros, enquanto o NF foi verificado por contagem. O parâmetro DC por sua vez, foi determinado com paquímetro digital calibrado. Realizada a mensuração destes parâmetros, as plantas foram segregadas em raiz e parte aérea para a determinação dos parâmetros de MFR e MFPA e MFT, com auxílio de balança eletrônica com precisão de 0,0001 g. Após a mensuração destes parâmetros, as raízes e partes aéreas foram acondicionadas individualmente em sacos de papel Kraft e secas em estufa de circulação de ar, a 60°C até peso constante, com posterior pesagem em balança de precisão para determinação da MSPA, MSR e MST.

Além dos parâmetros fitométricos, em cada unidade experimental, foi observado a presença de sintomas fitotóxicos, tais como clorose e necrose. O desenvolvimento do girassol também foi avaliado, levado em consideração, a existência ou não, de botões florais.

As análises da concentração de chumbo nos tecidos vegetais da planta foram realizadas segundo o método de espectrofotometria de absorção atômica. Para isso, foram selecionados

aleatoriamente, três girassóis cultivados em solo contaminado. As plantas foram segregadas em raiz e parte aérea e acondicionados individualmente em sacos plásticos estéreis e encaminhadas para laboratório.

O cálculo do fator de transferência ($F_{trans} = \text{teor Pb planta} / \text{teor Pb solo}$) foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial extrator de chumbo pelo girassol (Lubben & Sauerbeck, 1991). Já o fator de translocação ($FT = \text{teor Pb parte aérea} / \text{teor Pb raiz}$) teve a finalidade de avaliar a capacidade da planta em translocar o contaminante para a parte aérea (Min et al., 2007).

Os dados coletados, foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos e seis repetições e, submetidos a análise de variância e ao teste de médias de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o *software* Assistat 7.7.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise dos parâmetros fitométricos e biomassa vegetal

A análise dos parâmetros fitométricos dos girassóis cultivados em solo contaminado e testemunha demonstrou que apenas os parâmetros de MSR, MFPA, MSPA e MST apresentaram diferença significativa no solo contaminado após os 60 dias de plantio ($p\text{-valor} < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2: valores médios dos parâmetros fitométricos e produção de biomassa analisados no girassol

	Parâmetros Fitométricos				Produção de Biomassa					
	CPA (cm)	NF	DC (mm)	CR (cm)	MFR (g)	MFPA (g)	MFT (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
Solo contaminado	27.33a	8a	2.11a	6.86a	0.576a	1.47b	2,04a	0,146b	0,0633b	0,21b
Testemunha	32.45a	9.83a	2.64a	7.08a	0.716a	2.77a	3,48a	0,613a	0,136a	0,75a
p-valor	0,5049	0,1101	0,0729	0,8999	0,4496	0,0364	0,063	0,0091	0,0079	0,0087

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey. CPA: comprimento da parte aérea; NF: número de folhas; DC: diâmetro do caule; CR: comprimento da raiz; MFR: massa fresca da raiz; MFPA: massa fresca da parte aérea; MFT: massa fresca total; MSP: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca da raiz; MST: massa seca total.

Com relação à produção de Massa Seca da Raiz (MSR), observou-se que o girassol cultivado em solo contaminado ($1.989,62 \text{ mg kg}^{-1}$ de Pb) obteve produção de raízes estatisticamente inferior quando comparado ao girassol cultivado no solo testemunha ($2,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de Pb). Este resultado é semelhante ao encontrado no estudo de SILVA *et al.* (2013), o qual teve como objetivo, avaliar o desenvolvimento do girassol em solo contaminado com doses crescentes de chumbo. Os autores verificaram que a medida em que o girassol foi exposto as doses crescentes do metal, a produção de MSR foi reduzida de maneira significativa.

A baixa produção de MSR dos girassóis cultivados em solo contaminado pode estar atrelada ao fato da mesma estar exposta a uma concentração muito grande de chumbo, concluindo que este metal foi capaz de causar alterações na produção de MSR do girassol. A redução de MSR

pode estar relacionada ao fato do chumbo inibir a absorção de cálcio pela planta, cujo nutriente é essencial ao bom desenvolvimento das raízes vegetais (ABREU *et al.* 2013; RODRIGUEZ-HERNANDEZ *et al.*, 2015).

Além da MSR reduzida nas plantas cultivadas em solo contaminado, observou-se ainda nesta condição, o desenvolvimento excessivo de raízes secundárias. Este fato pode estar associado à alta concentração de chumbo, expondo os girassóis a um estresse ambiental que impediu o desenvolvimento da raiz pivotante e conseqüentemente, maior número de raízes secundárias (DUTRA *et al.*, 2012). Em solos argilosos onde os metais normalmente ficam retidos nas camadas superficiais, a abundância de raízes é um fator importante, pois elas são capazes de promover a absorção de grandes quantidades de chumbo, devido a maior área de contato entre raiz e contaminante (MARQUES *et al.*, 2000).

Os demais parâmetros, MSPA, MST e MFPA também foram influenciados pela contaminação corroborando com os resultados obtidos por outros autores, em que a produção de biomassa foi significativamente reduzida em solos contaminados por chumbo, indicando que para estes parâmetros a concentração do metal foi capaz de inibir o desenvolvimento do girassol (ANDRADE *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2013;).

A baixa produção de MST em solo contaminado pode ocorrer não apenas pela baixa capacidade das plantas em desenvolver-se em ambiente contaminado, mas também à elevada capacidade de absorção do metal em seus tecidos. Esta condição, confere a planta o título de espécie hiperacumuladora, sendo conhecida pela baixa produção de massa seca e alta absorção de metais pesados (MARQUES *et al.*, 2009). Diferentemente do que ocorre em plantas acumuladoras, que produzem grandes quantidades de matéria seca, no entanto, absorvem e acumulam menores concentrações de metais em seus tecidos (TAVARES *et al.*, 2013).

Os parâmetros de CPA, NF, DC, CR e MFR apresentaram-se dentro da normalidade (p -valor < 0,05), indicando que estes parâmetros não foram afetados de maneira significativa mesmo o girassol sendo exposto a altas concentrações de chumbo.

No decorrer do experimento, foi possível identificar alguns sintomas de fitotoxidez nas plantas pela presença de folhas cloróticas com pontos já necrosados. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por Andrade *et al.* (2009), que ao estudar o potencial fitoextrator do girassol em solo contaminado por chumbo, verificou que as plantas apresentaram sintomas de clorose e necrose foliar.

Em estudo desenvolvido por Abreu *et al.* (2013), avaliando os teores de clorofila em girassóis cultivados em solução nutritiva contaminada por chumbo, pôde-se observar que conforme o incremento de chumbo aplicado a solução, mais intensa foi a clorose foliar nas plantas. Este fenômeno pode estar associado ao fato do chumbo interferir na absorção de ferro e magnésio pela planta, elementos fundamentais para a biossíntese das moléculas de clorofila (Abreu *et al.*, 2013).

3.2. Análise química do solo

Analisando as características físico-químicas (Tabela 1) e utilizando o diagrama triangular para a classificação textural de solos (EMBRAPA, 2006), constata-se que o solo contaminado utilizado no estudo da fitorremediação pode ser definido como argiloso e de CTC alta. De acordo com Tavares *et al.*, (2013), em estudos sobre fitorremediação de metais, quanto maior a CTC, menor a mobilidade destes metais no perfil do solo. Portanto, em solos argilosos é comum encontrar grandes concentrações de metais pesados depositados nas camadas superficiais.

Com relação ao pH, tem-se que valores baixos (menores que 5,5) correspondem a maiores concentrações de íons H⁺ disponíveis na solução do solo, contribuindo para o aumento da competição de adsorção destes com metais pesados (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004). Portanto, quanto menor o pH, maior a concentração de metais na solução do solo, devido à

dificuldade dos mesmos em serem adsorvidos por coloides negativos, favorecendo a absorção de metais pelas plantas (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004;). Desta forma, como o pH do solo utilizado para os processos de fitorremediação é ácido, possivelmente tenha influenciado a absorção de metais pelas plantas, explicando em partes a elevada concentração do metal nos tecidos vegetais.

3.3. Concentração de chumbo no tecido vegetal

Garbisu e Alikorta (2001) afirmam que o chumbo é um elemento que permanece retido em maiores concentrações nas raízes em detrimento da parte aérea, mostrando que espécies tolerantes acumulam maiores concentrações dos contaminantes no sistema radicular, limitando a translocação do metal para a porção aérea devido às barreiras fisiológicas impostas pela planta.

O potencial fitoextrator de espécies vegetais é geralmente avaliado pela comparação entre as concentrações do poluente acumulado nas raízes e na parte aérea da planta (MARQUES *et al.*, 2009). Neste trabalho, a determinação das concentrações de chumbo evidenciou que a espécie *Helianthus annuus L.* apresentou concentrações distintas com relação ao acúmulo do metal no sistema radicular e parte aérea.

Após as análises, observou-se significativa absorção de chumbo pelas raízes, no entanto, com pouca translocação para a parte aérea (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Zeitouni (2003), o qual o girassol utilizado em seu experimento apresentou baixa concentração de chumbo na parte aérea da planta.

Tabela 3: Análises de chumbo no tecido vegetal

Concentração de chumbo pela raiz (mg kg ⁻¹)*	Concentração de chumbo na parte aérea (mg kg ⁻¹)*	Fator translocação (FT) **	Fator de transferência (Ftrans)
960,20 a	8,11 b	0,0084	0,49

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey.

** FT próximo a 1 = eficientes;

Apesar da translocação do contaminante para a parte aérea da planta ser um fator desejável para os processos de fitoextração, o sucesso desta técnica não depende apenas deste aspecto, mas também da produção de biomassa e tolerância da espécie em absorver grandes quantidades de chumbo, podendo este ser expresso pelo fator de transferência (Ftrans) (NASCIMENTO & XING, 2006; ROMEIRO *et al.*, 2007). Sendo assim, apesar do girassol ter apresentado baixo fator de translocação (FT= 0,0084), cabe destacar que o mesmo apresentou significativo fator de transferência (Ftrans= 0,49), podendo o girassol ser utilizado para a prática de fitoextração por raízes, uma vez que grande parte do contaminante ficou retido no sistema radicular da planta.

Na prática de fitoextração, a alta translocação do contaminante para a parte aérea da planta é preferível devido às facilidades de manejo após o processo de remediação. No entanto, existe grande vantagem quando o contaminante fica retido em maior concentração no sistema radicular da planta, reduzindo a possibilidade de contaminação ao longo da cadeia trófica (NASCIMENTO & XING, 2006).

De acordo com Tavares (2009), plantas hiperacumuladoras são espécies vegetais muito utilizadas nos processos de fitorremediação, as quais são capazes de acumular em seus tecidos valores superiores a 1.000 mg kg⁻¹ de chumbo. Andrade *et al.* (2009) estudando o potencial

do girassol, aveia preta e grama batatais em extrair metais pesados no solo, verificou que apenas na concentração acima de 9.000 mg kg^{-1} de Pb, as três espécies foram capazes de acumular mais de 1.000 mg kg^{-1} de Pb. Verificou-se também, que as concentrações desse metal na parte aérea foram muito inferiores quando comparadas com a concentração das raízes.

Neste trabalho, apesar do baixo fator de translocação ($FT = 0,0084$), observou-se quantidades significativas de chumbo no sistema radicular ($960,20 \text{ mg kg}^{-1}$), atribuindo ao girassol o título de planta hiperacumuladora de chumbo.

4. Conclusões

A espécie *Helianthus annuus* L. apresenta elevado potencial de extração de chumbo podendo ser considerada uma planta hiperacumuladora.

O girassol apresenta elevado fator de transferência de chumbo, com acúmulo em maior concentração no sistema radicular da planta.

O fator de translocação do girassol é baixo, impedindo o acúmulo de chumbo na parte aérea.

O acúmulo de metal reduziu a produção de biomassa da planta.

Referências

- Abreu, C., Mota, K. N. A. B., Sacramento, B. L., & Azevedo Neto, A. D. (2013). Teores de pigmentos em girassol *Helianthus annuus* (Compositae) sob doses de chumbo em solução nutritiva. In: 64º Congresso Nacional de Botânica, Belo Horizonte, MG.
- Accioly, A. M. A., & Siqueira, J. O. (2000). Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais, R. F., Alvarez V. V. H., & Schaefer, C. E. G. R. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 1. p. 299-352.
- Andrade, M. G., Melo, V. F., Gabardo, J., Souza, L. C. P., & Reissmann, C. B. (2009). 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. Doi: 10.1590/S0100-06832009000600037
- ATSDR - Agency for toxic substance and disease registry. (2011). Priority List of Hazardous Substances. Division of Toxicology and Human Health Sciences, Atlanta, Georgia, USA.
- Baird, C., & Cann, M. (2011). Química ambiental. 4. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Bosso, S. T., & Enzweiler, J. (2008). Ensaio para determinar a (bio)disponibilidade de chumbo em solos contaminados: revisão. Química Nova. v. 31, n. 2, p. 394-400. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000200036>
- Dazy, M., Béraud, E., Cotellet, S., Grévilliot, F.; Féraud, J. F., & Masfarau, J. F. (2009). Changes in plant communities along soil pollution gradients: responses of leaf antioxidant enzyme activities and phytochelatin contents. Chemosphere. v. 77, n. 3, p. 376–383. Doi: [10.1016/j.chemosphere.2009.07.021](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.021)
- Dutra, C. C., Prado, E. A. F., Paim, L. R., & Scalón, S. P. Q. (2012). Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. Semina: Ciências Agrárias. v. 33, n. 6, p. 2657-2668. Doi: [10.5433/1679-0359.2012v33n6Supl1p2657](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6Supl1p2657)
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. (2006). 2.ed. Rio de Janeiro, 306p.
- Ernst, W. H. O. (2000). Evolution of metal hyperaccumulation and phytoremediation hype. New phytologist. v.146, n. 3, p. 357-358. Doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00669.x

FRANCISCO BELTRÃO. Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão. Perfil do município 2012. Disponível em: <<http://franciscobeltrao.pr.gov.br/departamentos/turismo/a-secretaria/economia-tecnologia/perfil-do-municipio/>>. Acesso em: outubro de 2015.

Gallego, S. M., Pena, L. B., Barcia, R.A., Azpilicueta, C. E., Iannone, M. F., Rosales, E.P... Benavides, M. P. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*. v. 83, p. 33–46. Doi: [10.1016/j.envexpbot.2012.04.006](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.006)

Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*. v. 77, n. 3, p. 229- 236. Doi: [10.1016/S0960-8524\(00\)00108-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00108-5)

Herzig, R., Nehnevajova, E., Pfister, C., Schwitzguebel, P., Ricci, A., & Keller, C. (2014). Feasibility of Labile Zn Phytoextraction Using Enhanced Tobacco and Sunflower: Results of Five- and One-Year Field-Scale Experiments in Switzerland. *International Journal of Phytoremediation*. v. 16, n. 7-8, p. 735-754. Doi: [10.1080/15226514.2013.856846](https://doi.org/10.1080/15226514.2013.856846)

Jimenez, R. S., Bosco, S. M., Carvalho, W. A. (2004). Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita - influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química Nova*. v. 27, n. 5, p. 734-738. Doi: [10.1590/S0100-40422004000500011](https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000500011)

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). 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN.

Lone, M. I., Zhen, L. H., Peter, J. S., & Xiao, E. Y. (2010). Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science B*. v. 9, n.3, p. 210-220. Doi: [10.1631/jzus.B0710633](https://doi.org/10.1631/jzus.B0710633)

Lubben, S., & Sauerbeck, D. (1991). The uptake and distribution of heavy-metals by spring wheat. *Water Air and Soil Pollution*. v.57, n.8, p.239-247. Doi: [10.1007/BF00282887](https://doi.org/10.1007/BF00282887)

Lyubenova, L., Pongrac, P., Vogel-Mikus, K., Mezek, G. K., Vavpetic, P., Grlj, N., ...Schröder, P. (2013). The fate of arsenic, cadmium and lead in *Typha latifolia*: a case study on the applicability of micro-PIXE in plant ionomics. *Journal of Hazardous Materials*. v. 248–249, 371–378. Doi: [10.1016/j.jhazmat.2013.01.023](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.01.023)

Marchi, G., Guilherme, L. R. G., Silva, A., & Gonçalves, C. (2009). Elemento-traço e sua relação com a qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. Documento 252. 45 p.

Mariano, D. C., & Okumura, R. S. (2012). Aspectos agronômicos, usos pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. *Revista em agronegócios e Meio Ambiente*, v. 5, n. edição especial, p. 85-101.

Marques, L. F. Fitoextração de chumbo por girassol, vetiver, trigo mourisco, jureminha e mamona em áreas contaminadas. (2009). 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia – PB.

Marques, T. C. L. L S. M., Moreira, F. M. S., & Siqueira, J. O. (2000). Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 35, n.1, p. 121-132. Doi: [10.1590/S0100-204X2000000100015](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000100015)

Monquero, P. A., Côrrea, M. C., Barbosa, L. N., Gutierrez, A., Orzari, I., & Hirata, A. C. S. (2013) Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de Diclosulam. *Planta Daninha*. v. 31, n.1, p. 127-135. Doi: doi.org/10.1590/S0100-83582013000100014

Min, Y., Boqing, T., Meizhen, T., & Aoyama, I. (2007). Accumulation and uptake of manganese in a hyperaccumulator *Phytolacca americana*. *Minerals Engineering*. v. 20, n.2, p. 188–190. Doi:

[10.1016/j.mineng.2006.06.003](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.06.003)

Nadgórska-Socha, A., Kandziora-Ciupa, M., & Ciepał, R. (2015). Element accumulation, distribution, and phytoremediation potential in selected metallophytes growing in a contaminated area. *Environ. Monit. Assess.* v. 187. Doi: [10.1007/s10661-015-4680-6](https://doi.org/10.1007/s10661-015-4680-6)

Nascimento, C. W. A., & Xing, B. (2006). Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and accumulation. *Scientia Agricola*. v. 63, n. 3, p. 299-311. Doi: [10.1590/S0103-90162006000300014](https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000300014)

Nehnevajova, E., Herzig, R., Bourigault, C., Bangerter S., Schwitzguébel J, P. (2009). Stability of enhanced yield and metal uptake by sunflower mutants for improved phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*. v. 1, n. 4, p. 329–346. Doi: [10.1080/15226510802565394](https://doi.org/10.1080/15226510802565394)

Nehnevajova, E. H., Federer, R., Erismann, G., Schwitzguebel, K. H., Paul, J. (2005). Screening of sunflower cultivars for metal phytoextraction in a contaminated field prior to mutagenesis *International Journal of Phytoremediation*. v. 7, n. 4, p. 337-349. Doi: [10.1080/16226510500327210](https://doi.org/10.1080/16226510500327210)

Niu, Z. X., Li, X. D., Sun, L. N., & Sun, T. H. (2012). Changes of three organic acids in the process of Cd and Pb phytoextraction by *Helianthus annuus L.* *Plant Soil Environment*. v. 58, n.11, p. 487–494. Doi:

Paoliello, M. B., & Chasin, A. A. M. (2001). Ecotoxicologia de chumbo e seus compostos. *Série Cadernos de Referência Ambiental, Salvador*, v. 3, 144p.

Pereira, M. P., Pereira, F. J., Rodrigues, L. C. A., Barbosa, S., & Castro, E. M. (2013). Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. *Revista Agro@ambiente On-line*. v. 7, n. 1, p. 36-43. Doi: [10.18227/1982-8470ragro.v7i1.895](https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.895)

Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. v. 56, p. 15–39. Doi: [10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214)

Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011): Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*. v. 180, n. 2, p. 169-181. Doi: [10.1016/j.plantsci.2010.08.016](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016)

Rodriguez-Hernandez, M. C., Bonifas, I., Alfaro-De La Torre, M. C., Flores-Flores, J. L., Bañuelos-Hernández, & B., Patiño-Rodríguez. (2015). Increased accumulation of cadmium and lead under Ca and Fe deficiency in *Typha latifolia*: A study of two pore channel (TPC1) gene responses. *Environmental and Experimental Botany*. v. 115, p. 38–48. Doi: [10.1016/j.envexpbot.2015.02.009](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.02.009)

Romeiro, S., Lagôa, A. M. M. A., Furlani, P. R., Abreu, C. A., & Pereira, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes*. *Bragantia*. v. 66, n.2, p. 327-334, 2007. Doi: [10.1590/S0006-87052007000200017](https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000200017)

Shahid, M., Pinelli, E., Pourrut, B., Silvestre, J., & Dumat, C. (2011). Lead-induced genotoxicity to *Vicia faba L.* roots in relation with metal cell uptake and initial speciation. *Ecotoxicology and Environmental Safety* . v. 74, n.1, p. 78–84. Doi: [10.1016/j.ecoenv.2010.08.037](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.08.037)

Silva, P. C. C., Jesus, F. N., Alves, A. C., Jesus, C. A. S., & Santos, A. R. (2013). Crescimento de plantas de girassol cultivadas em ambiente contaminado por chumbo. *Bioscience Journal*. v. 29, n.5, p. 1576-1586.

Tavares, S. R. L., Oliveira, S. A., & Salgado, C. M. (2013). Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. *Hollos*. v.5, p. 80-97.

Ullah, R., Bakht, J., Shafi, M., Iqbal, M., Khan, A., & Saeed, M. (2011). Phyto-accumulation of heavy metals by sunflower (*Helianthus annuus L.*) grown on contaminated soil. *African Journal of Biotechnology*. v. 10, n. 75, p. 17192-17198. Doi: [10.5897/AJB11.1832](https://doi.org/10.5897/AJB11.1832)

Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A.,... Mench, M. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*. v. 16, n.7, p. 765–794. Doi: 10.1007/s11356-009-0213-6

Wenzel, W. W. (2009). Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant and Soil*. v. 321, n. 1, p. 385–408. Doi: 10.1007/s11104-008-9686-1

Yeh, T. Y., Lin, C. L., Lin, C. F., & Chen, C. C. (2015). Chelator-enhanced phytoextraction of copper and zinc by sunflower, Chinese cabbage, cattails and reeds. *International Journal of Environmental Science and Technology*. v. 12, n.1, p. 327–340. Doi: 10.1007/s13762-014-0592-1

Zalewska, M., & Nogalska, A. (2014). Phytoextraction potential of sunflower and white mustard plants in zinc-contaminated soil. *Chilean Journal of Agricultural Research*.v. 74, n.4, p. 485-489. Doi: 10.4067/S0718-58392014000400016

Zalewska, M. (2012). Response of perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) to soil contamination with zinc. *Journal of Elementology*. v. 17, p. 329-343. Doi: 10.5601/jelem.2012.17.2.14

Zeitouni, C.. F. Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo vermelho amarelo distrófico. (2003). 91 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical e subtropical). Instituto Agronômico. Campinas – SP.

1. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Engenharia Ambiental, Linha Santa Bárbara s/n, CEP 85601-970, Francisco Beltrão, PR, Brasil. Email: panthymboffe@hotmail.com

2. USP/ESALQ, Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. Email: rubenscalegari@live.com

3. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Engenharia Ambiental, Linha Santa Bárbara s/n, CEP 85601-970, Francisco Beltrão, PR, Brasil.

4. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Engenharia Ambiental, Linha Santa Bárbara s/n, CEP 85601-970, Francisco Beltrão, PR, Brasil. Email: priscilas@utfpr.edu.br

5. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Engenharia Ambiental, Linha Santa Bárbara s/n, CEP 85601-970, Francisco Beltrão, PR, Brasil. Email: deniseszymczak@gmail.com

6. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Estrada para Boa Esperança, Km 04, CEP 85660-000, Dois Vizinhos, PR, Brasil: E-mail: dtessaro@utfpr.edu.br

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 09) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados