

Avaliação do potencial de bioacumulação de cromo em plantas de girassol

Assessment of chromium bio-accumulation potential in sunflowers

Sérgio Costa¹, Markio Gonçalves Vicente², Vinicius Gomes³, Alba Regina Azevedo Arana⁴, Máira Uliana⁵

RESUMO: A remediação baseada em plantas (fitorremediação) é uma ferramenta biotecnológica utilizada para a descontaminação de solos e/ou corpos d'água poluídos, inclusive por metais. O objetivo do presente estudo foi estudar a bioacumulação em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivadas em solo contaminado por cromo (Cr) metálico utilizando a planta girassol, que é um dos melhores "hiperacumuladores" para a fitorremediação de locais poluídos por metais. Foram analisados o acúmulo de Cr no conteúdo de biomassa da parte aérea e no óleo extraído das sementes das plantas cultivadas em solo contaminado por esse metal. Os girassóis foram cultivados em vasos e os tratamentos foram com soluções de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) nas concentrações zero, 18, 36 e 72 mg kg^{-1} e as análises foram realizadas por espectrometria de absorção atômica. Os resultados indicaram que há redução significativa da biomassa das plantas com aumento da dosagem de Cr, acumulando altas porcentagens do metal nos tecidos vegetais da parte aérea, sendo tóxico na concentração mais elevada (72 mg kg^{-1}). No óleo, observou-se que nas diferentes concentrações de Cr no solo, o teor encontrado do metal foi o mesmo. A planta de girassol apresenta potencial fitoextrator de Cr quando cultivada em solo contaminado por esse metal. Destaca-se que o **óleo** extraído das sementes cultivadas nestas condições não é adequado para consumo humano, em virtude do alto teor de metal.

Palavras-chave: Fitoextrator. *Helianthus annuus* L. Metais pesados.

ABSTRACT: Plant-based remediation (phyto-remediation) is a biotechnological tool used for the decontamination of polluted soils and water bodies, even by metals. Bioaccumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in soil contaminated by metallic chromium (Cr) is studied. The sunflower is one of the best hyperaccumulators for phyto-remediation sites polluted by metals. The accumulation of Cr in shoot biomass content and oil extracted from seeds of plants grown in soil contaminated by the metal were analyzed. The sunflower plants were grown in pots and treatments comprised potassium dichromate solutions ($K_2Cr_2O_7$) at concentrations 0, 18, 36 and 72 mg kg^{-1} , whilst analyses were performed by atomic absorption spectrometry. Results showed that there was a significant reduction in plant biomass of plants in proportion to Cr dose, accumulating high percentages of metal in shoot plant tissues. It was toxic at the highest concentration (72 mg kg^{-1}), whereas metal rates were the same at different concentrations of Cr in the soil, in oil. Sunflower plants have a Cr phytoextractor potential when cultivated in soil contaminated by the metal. Oil extracted from the seeds grown under these conditions is not suitable for human consumption due to its high metal content rates.

Keywords: *Helianthus annuus* L. Phytoextractor. Heavy metals.

Autor correspondente:

Sérgio Costa: marxcosta@gmail.com

Recebido em: 06/09/2019

Aceito em: 24/03/2020

INTRODUÇÃO

Metais pesados ocorrem naturalmente em solos formados por processos geológicos como o intemperismo de rochas. A contaminação dos solos por esses metais é uma séria preocupação em muitos países, pois, em concentrações elevadas esses metais pesados são considerados risco ambiental, que ocorre, principalmente, devido às atividades de mineração e às emissões agroindustriais em áreas urbanas (SAYYED; SAYADI, 2011; DE *et al.*, 2018).

Os principais metais pesados encontrados em solos e/ou corpos d'água contaminados são: prata (Ag), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn). As fontes desses

¹ Pós-doutorando (PNPD/CAPES) do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente (SP), Brasil.

² Egresso do curso de Química da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente (SP), Brasil.

³ Docente do curso de Química da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente (SP), Brasil.

⁴ Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente (SP), Brasil.

⁵ Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente (SP), Brasil.

metais incluem, além da mineração, o lodo de esgoto, a irrigação com águas residuais, tintas, pesticidas, fertilizantes e combustão de carvão (MCLEAN; BLEDSOE, 1992; GARBISU; ALKORTA, 2003; TANGAHU *et al.*, 2011; FORTE; MUTITI, 2017).

Numerosos estudos de contaminação ambiental vêm sendo realizados com o intuito de aprofundar a compreensão dos impactos de metais pesados e metaloides em solos, plantas, animais e seres humanos. Metais tóxicos podem ser absorvidos pelas plantas cultivadas em solo contaminado, sendo impróprio para alimentação humana e animal devido à alta acumulação podendo causar danos à saúde e no seu desenvolvimento (EBBS *et al.*, 1997; REBAH *et al.*, 2007; REVATHI; HARIBABU; SUDHA, 2011; CHEN *et al.*, 2015; ISLAM *et al.*, 2015; MIKKONEN *et al.*, 2018).

Várias técnicas de remediação convencional podem ser utilizadas na tentativa de remediar os danos em ambientes poluídos com metais pesados, cada uma delas com seus benefícios e suas limitações específicas. Destacam-se: vitrificação do solo, incineração do solo, escavação e aterro, lavagem do solo, limpeza do solo, solidificação e estabilização de sistemas eletrocinéticos. Contaminantes metálicos como Hg, Pb, Zn, As, Cd, Cr, Na, K e Cu; são considerados tóxicos e seu acúmulo no solo ou corpos d'água por um longo período pode ser fatal para os microrganismos vivos ali presentes: (GARBISU; ALKORTA, 2003; PRASAD; FREITAS, 2005).

O cromo (Cr) pertence ao grupo de transição VI-B da tabela periódica moderna e possui um número de oxidações variando de Cr (II) para Cr (VI). Suas formas mais estáveis e comuns na natureza são as espécies trivalentes Cr (III) e hexavalentes Cr (VI), os quais possuem diferentes propriedades físico-químicas, bioquímicas e toxicidade humana. O Cr (III) é considerado benigno e necessário em pequenas concentrações para nutrição humana, em contraste, o Cr (VI) é um conhecido agente carcinogênico (por inalação ou ingestão) e tende a ser móvel no meio ambiente comprometendo a qualidade do solo e de corpos d'água (SINHA; PAKSHIRAJAN; CHATURVEDI, 2018). As principais causas do acúmulo de Cr na natureza são as atividades antrópicas, incluindo os processos de acabamento de metais e ligas, curtimento de couro, uso de águas de resfriamento anticorrosivo nas indústrias e os tratamentos para preservação de madeira (HAUSLADEN *et al.*, 2018).

Embora o Cr seja classificado com micronutriente, ou seja, um elemento não essencial para as plantas, a sua presença nos tecidos vegetais, mesmo em pequenas quantidades, é capaz de promover o crescimento em várias espécies já estudadas. Contudo, quando em elevadas concentrações, esse metal pode provocar várias desordens morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, interferindo em diversos processos metabólicos que são vitais às plantas (SINGH *et al.*, 2013).

A Fitorremediação tem sido reconhecida como um método não convencional e bastante econômico para descontaminação de solos com altas concentrações de metais. O termo refere-se ao uso de plantas verdes e microrganismos associados para minimizar os efeitos tóxicos de contaminantes potenciais no ambiente, podendo ser usada para a descontaminação de várias maneiras sendo a principal delas e que foi utilizada neste experimento conhecida como fitoacumulação ou fitoextração; além desta ainda há fitovolatilização, estimulação por micro-organismos, fitoestabilização e fitodegradação (PANDEY; BAJPAI; SINGH, 2016; SARWAR *et al.*, 2017).

As plantas utilizadas para esse propósito ficaram conhecidas na década de 80 como hiperacumuladoras, definidas como as espécies que são capazes de acumular metais pesados em níveis 100 vezes maiores do que as plantas não acumuladoras, uma hiperacumuladora deve ser capaz de acumular pelo menos 100 mgg⁻¹ (0,01% do seu peso seco) de contaminante (REVATHI; HARIBABU; SUDHA, 2011).

Dentre as plantas classificadas como hiperacumuladoras utilizadas para fitorremediação, encontra-se o girassol (*Helianthus annuus* L.), planta anual originária da América do Norte e Central, que pertence à família das Asteráceas. Essa espécie foi descrita como tolerante a metais pesados (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, Hg), hidrocarbonetos (naftaleno, benzopireno e antraceno) e outros poluentes, sendo considerada, portanto, uma planta hiperacumuladora, pois tem crescimento rápido, alta produção de biomassa e capacidade de acumular grandes quantidades de metais pesados e hidrocarbonetos (CHAUHAN; MATHUR, 2018).

Para alguns pesquisadores como Rahman, Azirun e Boyce (2013), que realizaram ensaios em solos contaminados por Pb e Cu na Malásia, observaram que as plantas de girassol caracterizam-se como hiperacumuladoras de metais. Entretanto, no ano seguinte, Hamvumba, Mataa e Mweetwa (2014) demonstraram que a mesma espécie de girassol não foi capaz de acumular quantidades detectáveis de Pb na parte aérea das plantas cultivadas em solos contaminados de mineração na Zâmbia.

Uma vez que os resultados encontrados são contraditórios, mais pesquisas relacionadas com as habilidades de hiperacumulação das plantas de girassol necessitam ser conduzidas. Desta Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar a bioacumulação em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) que possuem origem na América do Norte e Central e pertencem à família das Asteráceas, cultivadas em solo contaminado por cromo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, instalada no centro experimental da Universidade do Oeste Paulista de Presidente Prudente (SP) (22°11'58" S, 51°45'12" W e altitude média de 475 m). O solo utilizado foi coletado na Fazenda Experimental da Unoeste, no município de Presidente Prudente (SP), a profundidade de 20 cm, sendo classificado como argiloso vermelho-amarelo eutrófico, com textura arenosa média.

O solo foi acondicionado em vasos com capacidade para 9 dm³. As sementes de girassol utilizadas foram da variedade BRS-324. A semeadura aconteceu em dezembro de 2015 sendo utilizadas três sementes em cada vaso. Após 20 dias de emergência, todas as plantas receberam desbaste, permanecendo duas plantas por vaso. A irrigação ocorreu diariamente ou a cada dois dias para manutenção da capacidade de campo no vaso.

A aplicação da solução contendo cromo ocorreu seis dias após o desbaste quando as plantas estavam, em média, com 60 cm. Foram testadas três concentrações de cromo, estabelecido como base nos valores orientadores da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). A solução estoque a base de cromo utilizada no preparo das concentrações foi a partir do reagente K₂Cr₂O₇ (dicromato de potássio). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com tratamentos compostos por quatro doses de Cr adicionadas por quilo de solo: T1 (solução testemunha = 0 mg kg⁻¹), T2 (18 mg kg⁻¹), T3 (36 mg kg⁻¹) e T4 (72 mg kg⁻¹), com seis repetições. A determinação de cromo foi realizada em equipamento de absorção atômica e os resultados expressos em porcentagem.

Para quantificação da biomassa, as amostras frescas (tecidos vegetais, raízes e parte aérea) foram pesadas em balança analítica (0,001 g de precisão); posteriormente, para a quantificação de Cr na matéria seca (tecidos vegetais, raízes e parte aérea), as amostras foram preparadas segundo a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997), a matéria verde foi seca em estufa a 65 °C por 24 h e sendo utilizada uma alíquota de 400 mg de material seco e moído para digestão, adicionando-se seis mL de uma mistura de HNO₃ e HClO₄ na proporção de 2:1 (v/v). Subsequentemente, as amostras foram resfriadas, filtradas e transferidas para balão volumétrico de 50 mL, completando o volume com água deionizada. A determinação da quantidade de cromo foi realizada por absorção atômica conforme proposto por Welz *et al.* (2005).

Para o processo de extração do óleo de girassol, seguimos a metodologia proposta pelo Instituto Adolf Lutz (2008), aproximadamente dois gramas de sementes foram triturados e acondicionados em cartuchos de Soxhlet, com 200 mL de éter de petróleo, para extração contínua sob aquecimento em chapa elétrica, por 8 horas. O resíduo extraído foi seco em estufa a 105 °C, por umah.

A metodologia utilizada para determinação de Cr na amostra do óleo foi baseada nos estudos de Amorim *et al.* (2007), o equivalente a 0,1 g de amostra foi pesado em um tubo de ensaio e 1 mL de ácido sulfúrico concentrado foi adicionado e aquecido a 170 °C ± 10 °C em bloco digestor durante 30 min. Subsequentemente, foi adicionado 1,0 mL de ácido nítrico concentrado, mantendo-se o aquecimento durante 20 min. Por fim, 1,0 mL de 30% (v/v) de pe-

róxido de hidrogênio foi adicionado e as amostras arrefecidas até à temperatura ambiente. A determinação do cromo em todas as soluções foi realizada em espectrômetro de absorção atômica conforme proposto por Welz *et al.* (2005).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro, auxiliado pelo *software* estatístico R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo utilizado no experimento sofreu correção de acordo com os resultados de macro e micronutrientes (RAIJ *et al.*, 2001) descritos nas Tabelas 1 e 2. A correção aconteceu conforme as necessidades da cultura, segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Resultado da análise química do solo para fins de recomendações de calagem adubação

Parâmetro	Unidade	Solo
pH (CaCl ₂)		4,9
M.O.	g dm ⁻³	5,0
C total	g dm ⁻³	****
P	mg dm ⁻³	16,8
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ⁻³	1,5
Al ³⁺	mmol _c dm ⁻³	1,5
H + Al	mmol _c dm ⁻³	15,9
K	mmol _c dm ⁻³	1,6
Ca	mmol _c dm ⁻³	3,2
Mg	mmol _c dm ⁻³	4,0
SB	mmol _c dm ⁻³	8,7
CTC	mmol _c dm ⁻³	24,6
M	%	14,7
V	%	35,4

Valores expressos em média.

Tabela 2. Resultado de micronutrientes da análise química do solo

	Unidade	Solo
B	g dm ⁻³	0,21
Cu	g dm ⁻³	1,70
Fe	g dm ⁻³	28,80
Mn	g dm ⁻³	6,50
Zn	g dm ⁻³	0,40

Valores expressos em média.

Com relação às doses de Cr aplicadas, observou-se que independente da concentração desse metal, a fitoextração das plantas de girassol obteve maior concentração do metal na biomassa das plantas do que no óleo das

sementes (Tabela 3). Verificou-se que a dose com maior concentração de Cr (72 mg kg^{-1}) foi extremamente tóxica, levando à morte das plantas deste tratamento, não sendo possível avaliar a quantidade do metal absorvido pela planta e a biomassa.

Tabela 3. Bioacumulação (%) de cromo por *Helianthus annuus* L.

Amostra	0 mg/kg cromo	18 mg/kg cromo	36 mg/kg cromo	72 mg/kg cromo
Parte aérea	18 a	85 b	135 c	-
Óleo das sementes	0,12 a	0,16 a	0,18 a	-

Médias seguidas por pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

Também observou-se que quanto maior a concentração de Cr, até a dose de 36 mg kg^{-1} , maior foi a bioacumulação detectada na biomassa das plantas de girassol. Alguns estudos que avaliaram o desenvolvimento das plantas em solos mostraram que a produção de matéria seca é influenciada pela taxa de contaminação do solo por metais pesados (DE SÁ *et al.*, 2000). Para Revathi, Haribabu e Sudha (2011), que avaliaram o potencial de biorremediação de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em solos contaminados com Cr, quanto maior a dose desse metal no solo, maior a sua fitoacumulação na planta. A acumulação de Cr pelas plantas pode reduzir o crescimento, induzir clorose em folhas jovens, reduzir o teor de pigmento, alterar a função enzimática, danificar as células radiculares e causar modificações estruturais do cloroplasto e da membrana celular (PANDA; CHOUDHURY, 2005).

A produção de biomassa (Tabela 4) relaciona à tolerância da planta de girassol ao contaminante. Taiz e Zeiger (2009) relatam que a tolerância das plantas se dá através de diferentes adaptações bioquímicas às concentrações elevadas desses elementos, que pode ser conseguido através da redução do transporte através da membrana, exclusão, formação de peptídeos ricos em grupos tiólicos, quelação por ácidos orgânicos e aminoácidos e a compartimentalização de metal nos vacúolos. Desse modo, esse fato corrobora os nossos resultados obtidos nos tratamentos de menores doses de Cr. Shanker *et al.* (2005) também constataram que compostos formados por Cr são altamente tóxicos e podem causar danos às plantas, como no processo fotossintético, diminuindo o crescimento e desenvolvimento.

Tabela 4. Biomassa das plantas de girassol expostas aos solos contaminados por cromo

Tratamento (mg/kg cromo)	Biomassa (g)
0	$398 \pm 1,20$
18	$302 \pm 0,98$
36	$255 \pm 1,05$
72	-

Valores expressos em médias \pm desvio padrão.

Tavares, Oliveira e Salgado (2013), estudando a fitorremediação de solos contaminados por metais pesados, concluíram que as plantas de girassol auxiliaram na fitoextração de metais no solo em diferentes nas doses testadas. Assim como aconteceu neste estudo, em que as plantas de girassol acumularam Cr na sua biomassa, diminuindo os teores do metal estudado no solo. Fatores como estágio de desenvolvimento da planta, diferentes espécies químicas dos elementos e tempo de exposição a esses elementos interferem nos teores dos metais nas diferentes partes das plantas (SILVA; VITTI; TREVIZAM, 2007).

De acordo com o Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965 (ANVISA, 1965), os limites máximos de tolerância (LMT) de metais em óleos vegetais é $0,1 \text{ mg Kg}^{-1}$. Baseado nessa informação observou-se que os teores de Cr em todos os tratamentos encontraram-se acima do LMT, não sendo adequado para o consumo.

4 CONCLUSÃO

As plantas de girassol apresentam potencial bioacumulador de Cr quando cultivadas em solo contaminado por esse metal, porém, a quantidade acumulada depende da concentração de Cr no solo, já que concentrações muito elevadas deste são tóxicos à espécie. O óleo das plantas de girassol utilizadas na fitoextração **não é adequado para consumo humano, pois apresenta teor de metal acima do permitido pela legislação.**

5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade do Oeste Paulista (APEC/UNOESTE) pelo apoio financeiro concedido para realização deste experimento (projeto número 2429/2015).

REFERÊNCIAS

ANVISA. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/55871_65.htm. Acesso em: 21 ago. 2019.

AMORIM, F. A. C.; LIMA, D. C.; AMARO, J. A.; VALE, M. G. R.; FERREIRA, S. L. Methods for vanadium determination in fuel oil by GF AAS with microemulsification and acid digestion sampling. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 8, p. 1566-1570, 2007.

520

BRASIL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. 1020p.

CHAUHAN, P.; MATHUR, J. Potential of Helianthus annuus for phytoremediation of multiple pollutants in the environment: A Review. **Journal of Biological Sciences and Medicine**, v. 4, n. 3, p. 5-16, 2018.

CHEN, M.; XU, P.; ZENG, G.; YANG, C.; HUANG, D.; ZHANG, J. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. **Biotechnology advances**, v. 33, n. 6, p. 745-755, 2015.

DE, D.; SANTOSHA, S.; ANIYA, V.; SREERAMOJU, A.; SATYAVATHI, B. Assessing the applicability of an agro-industrial waste to Engineered Bio-char as a dynamic adsorbent for Fluoride Sorption. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 2998-3009, 2018.

EBBS, S. D.; LASAT, M. M.; BRADY, D. J.; CORNISH, J.; GORDON, R.; KOCHIAN, L. V. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n. 5, p. 1424-1430, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

FORTE, J.; MUTITI, S. Phytoremediation potential of Helianthus annuus and Hydrangea paniculata in copper and lead-contaminated soil. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 228, n. 2, p. 77, 2017.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. **ejmp & ep**, v. 3, n. 1, p. 58-66, 2003.

HAMVUMBA, R.; MATAA, M.; MWEETWA, A. M. Evaluation of sunflower (Helianthus annuus L.), sorghum (Sorghum bicolor L.) and chinese cabbage (Brassica chinensis) for phytoremediation of lead contaminated soils. **Environment and Pollution**, v. 3, n. 2, p. 65, 2014.

- HAUSLADEN, D. M.; ALEXANDER-OZINSKAS, A.; MCCLAIN, C.; FENDORF, S. Hexavalent chromium sources and distribution in California groundwater. **Environmental science & technology**, v. 52, n. 15, p. 8242-8251, 2018.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.
- ISLAM, M. S.; AHMED, M. K.; RAKNUZZAMAN, M.; HABIBULLAH-AL-MAMUN, M.; ISLAM, M. K. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. **Ecological indicators**, v. 48, p. 282-291, 2015.
- DE SÁ, T. C. L. L.; MARQUES, M.; DE SOUZA MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 121-132, 2000.
- MALAVOLTA, E. *et al.* **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MCLEAN, J. E.; BLEDSOE, B. E. Ground water issue. **Behaviour of metals in soils**. United States Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA/540/S-92/018, 1992.
- MIKKONEN, H. G.; DASIKA, R.; DRAKE, J. A.; WALLIS, C. J.; CLARKE, B. O.; REICHMAN, S. M. Evaluation of environmental and anthropogenic influences on ambient background metal and metalloid concentrations in soil. **Science of the total environment**, v. 624, p. 599-610, 2018.
- PANDA, S. K.; CHOUDHURY, S. Chromium stress in plants. **Brazilian journal of plant physiology**, v. 17, n. 1, p. 95-102, 2005.
- PANDEY, V. C.; BAJPAI, O.; SINGH, N. Energy crops in sustainable phytoremediation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 58-73, 2016.
- PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H. Metal-tolerant plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. In: **Trace Elements in the Environment**. CRC Press, 2005. p. 501-524.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>.
- RAIJ, B. VAN. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, 2001.
- RAHMAN, M. M.; AZIRUN, S. M.; BOYCE, A. N. Enhanced accumulation of copper and lead in amaranth (*Amaranthus paniculatus*), Indian mustard (*Brassica juncea*) and sunflower (*Helianthus annuus*). **PloS one**, v. 8, n. 5, p. e62941, 2013.
- REBAH, F. B.; PRÉVOST, D.; YEZZA, A.; TYAGI, R. D. Agro-industrial waste materials and wastewater sludge for rhizobial inoculant production: a review. **Bioresource technology**, v. 98, n. 18, p. 3535-3546, 2007.
- REVATHI, K.; HARIBABU, T. E.; SUDHA, P. N. Phytoremediation of chromium contaminated soil using sorghum plant. **International Journal of Environmental Sciences**, v. 2, n. 2, p. 417, 2011.
- SARWAR, N.; IMRAN, M.; SHAHEEN, M. R.; ISHAQUE, W.; KAMRAN, M. A.; MATLOOB, A.; REHIM, A.; HUSSAIN, S. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. **Che-**

mosphere, v. 171, p. 710-721, 2017.

SAYYED, M. R. G.; SAYADI, M. H. Variations in the heavy metal accumulations within the surface soils from the Chitgar industrial area of Tehran. **Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences**, v. 1, n. 1, p. 36, 2011.

SHANKER, A. K.; CERVANTES, C.; LOZA-TAVERA, H.; AVUDAINAYAGAM, S. Chromium toxicity in plants. **Environment international**, v. 31, n. 5, p. 739-753, 2005.

SINGH, H. P.; MAHAJAN, P.; KAUR, S.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. Chromium toxicity and tolerance in plants. **Environmental Chemistry Letters**, v. 11, n. 3, p. 229-254, 2013.

SINHA, V.; PAKSHIRAJAN, K.; CHATURVEDI, R. Chromium tolerance, bioaccumulation and localization in plants: An overview. **Journal of environmental management**, v. 206, p. 715-730, 2018.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R. Concentration of heavy metals in grain of plants cultivated in soil with different contamination levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 527-535, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TANGAHU, B. V.; ABDULLAH, S.; ROZAIMAH, 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, 2011.

TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, v. 5, p. 80-97, 2013.

WELZ, B.; BECKER-ROSS, H.; FLOREK, S.; HEITMANN, U. High-resolution continuum-source atomic absorption spectrometry: the better way to do atomic absorption spectrometry. **Weinheim: Wiley-VCH**, 2005. p. 294.