

ÁCIDOS HÚMICOS E CARVÃO VEGETAL ATIVADO COMO AMENIZANTES EM SOLO CONTAMINADO POR CHUMBO⁽¹⁾

Nielson Machado dos Santos⁽²⁾, Adriana Maria de Aguiar Accioly⁽³⁾, Clístenes Williams Araújo do Nascimento⁽⁴⁾, Jorge Antonio Gonzaga Santos⁽⁵⁾ & Ivo Ribeiro Silva⁽⁶⁾

RESUMO

A contaminação de solos por chumbo representa importante risco à saúde humana, sendo o município de Santo Amaro da Purificação, BA, um dos mais graves casos de contaminação do metal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de ácidos húmicos e carvão vegetal ativado como amenizantes da toxidez de Pb para plantas de milho cultivadas em solo contaminado, coletado próximo à área da metalúrgica responsável pela contaminação. As doses foram estabelecidas com base no teor de C dos materiais (ácidos húmicos de compostagem, ácidos húmicos comerciais e carvão vegetal) e corresponderam a 0; 0,75; 1,5; 3; e 7,5 g kg⁻¹ de C no solo. Ao final de 43 dias de cultivo, as plantas foram coletadas rente ao solo, separadas em parte aérea e raízes e submetidas à digestão nítrico perclórica para determinação de Pb. A fim de avaliar o efeito do metal sobre o aparato fotossintético, os teores de clorofilas a e b foram também avaliados. Os amenizantes aplicados no solo contaminado foram eficientes em diminuir o estresse provocado por Pb nas plantas de milho, sendo a maior eficiência obtida para os ácidos húmicos de compostagem, seguida pelo carvão vegetal e pelos ácidos húmicos comerciais. Todos os amenizantes testados diminuíram a translocação de Pb para a parte aérea das plantas, o que implica em maior fixação do metal no solo, com consequente diminuição dos riscos de transferência à cadeia trófica. Por essa razão, esses amenizantes podem ser recomendados para programas de fitoestabilização de Pb em solos.

Termos de indexação: poluição do solo, metais pesados, elementos traço, clorofila.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. Recebido para publicação em 24 de abril de 2013 e aprovado em 13 de setembro de 2013.

⁽²⁾ Doutorando em Ciência do Solo, Departamento de Agronomia - DEPA, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos. CEP 52171-900 Recife (PE). E-mail: nielsonmachado@hotmail.com

⁽³⁾ Pesquisadora, Embrapa Mandioca e Fruticultura. Rua Embrapa, s/n. CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: adriana.accioly@embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Associado, DEPA/UFRPE. E-mail: clistenes@depa.ufrpe.br

⁽⁵⁾ Professor Associado, Centro de Ciências Agrárias, Biológicas e Ambientais, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Cruz das Almas. CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: gonzaga.jorgeas@gmail.com

⁽⁶⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Av. P.H. Rolfs, s/n. CEP 36570-900 Viçosa (MG). E-mail: ivosilva@ufv.br

SUMMARY: HUMIC ACIDS AND ACTIVATED CHARCOAL AS SOIL AMENDMENTS TO REDUCE TOXICITY IN SOIL CONTAMINATED BY LEAD

Soil contamination by Pb poses a significant risk to human health. The municipality of Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brazil, has one of the most severe cases of contamination of this metal in the world. The objective of this study was to evaluate the effect of humic acids and activated charcoal as soil amendments for reducing the toxicity of Pb to corn plants grown in contaminated soil collected near the area of the company responsible for the contamination. Application rates were based on the C content of the materials (humic acid from composting - AHv, commercial humic acid - AHc, and charcoal - CV) and corresponded to 0, 0.75, 1.5, 3 and 7.5 g kg⁻¹ of C in the soil. At 43 days of growth, the plants were cut at ground level, separated into shoots and roots, and Pb contents were determined by nitro-perchloric digestion. The concentrations of chlorophyll a and b were also evaluated to evaluate the effect of the metal on the photosynthetic apparatus. The soil amendments applied to contaminated soil were effective in reducing the stress of Pb in corn plants. The highest efficiency was obtained from AHv, followed by CV and AHc. All the soil amendments tested decreased translocation of Pb to the shoots. This implies a greater fixation of the metal in the soil and, consequently, a reduction in the risk of transfer to the food chain. For this reason, these materials can be recommended as soil amendments for Pb phytostabilization in soils.

Index terms: soil pollution, heavy metals, trace elements, chlorophyll.

INTRODUÇÃO

A contaminação de Pb no município de Santo Amaro da Purificação, BA, originou-se a partir da instalação da empresa metalúrgica COBRAC (Companhia Brasileira de Chumbo) na década de 1960. Em razão do abandono da indústria, da deposição atmosférica e do transbordamento da bacia de rejeitos, ocorreu a maior contaminação urbana de Pb do mundo, ocasionando graves efeitos na saúde humana e no meio ambiente. Carvalho et al. (2003), avaliando os níveis de Pb no sangue de 47 crianças, na faixa etária de um a quatro anos, que habitavam no entorno da fundição da COBRAC, observaram que o nível médio do metal no sangue foi de $17,1 \pm 7,3$ mg dL⁻¹. Segundo os autores, considera-se 9 mg dL⁻¹ um nível de intoxicação relevante para Pb.

Diante desse cenário, medidas que visem corrigir ou atenuar os impactos danosos causados por esse elemento são essenciais para garantia da funcionalidade dos ecossistemas e redução dos riscos à saúde humana e expansão da contaminação. Entre as técnicas para a redução da disponibilidade ou mobilidade de metais pesados em solos contaminados, destaca-se a fitoestabilização, que consiste na combinação do uso de amenizantes e vegetação, visando estabilizar os metais no solo e reduzir a exposição humana e animal proveniente das partículas em suspensão na atmosfera ou do movimento desses metais para o lençol freático e as águas superficiais (Ruttens et al., 2006; Santibáñez et al., 2008; Melo et al., 2009).

Diferentes tipos de amenizantes têm sido avaliados como imobilizadores de metais pesados em solos. Santos et al. (2007), avaliando o efeito da aplicação de

resíduo de cervejaria e silicato de cálcio em um solo industrial contaminado com Zn e Cd, observaram que tanto o amenizante orgânico como o alcalino reduziram a concentração de Zn e Cd nas frações trocável e solúvel.

Substâncias húmicas (SH), definidas como associações supramoleculares de moléculas orgânicas de pequena massa molecular que se mantêm unidas por causa das forças de atração fraca (ligações hidrofóbicas van der Waals, π - π e CH- π e ligações de H) (Piccolo, 2002), podem desempenhar importante papel na biodisponibilidade de metais em solos e, dessa maneira, contribuir para a amenização da toxidez às plantas. Kang et al. (2011), avaliando a influência de SH na mobilidade de Cu e Zn durante compostagem aeróbica de lodo de esgoto, observaram aumento do coeficiente de distribuição de ácidos húmicos (AH)-Cu e AH-Zn de 27,5 e 3,33 %, respectivamente, sugerindo que houve redução na mobilidade e disponibilidade desses metais. O carvão também apresenta potencial para aplicação em um programa de fitoestabilização de áreas contaminadas, que é proveniente da carbonização da madeira. Esse material é caracterizado pela decomposição térmica parcial da madeira em ambientes fechados, na ausência ou na presença de quantidades controladas de oxigênio (Carvalho, 1997). Chen et al. (2010), avaliando o efeito da aplicação de carvão de bambu na imobilização de metais pesados durante a compostagem de esterco suínos, observaram que o tratamento com 9 % de carvão de bambu reduziu em 35 e 39 % o teor de Cu e Zn, respectivamente.

A fim de avaliar materiais que possam ser utilizados como amenizantes da toxidez de Pb em um solo contaminado por atividades metalúrgicas em Santo Amaro da Purificação, BA, este trabalho teve

como objetivo estudar o efeito de dois tipos de ácidos húmicos e um material de carvão vegetal ativado na redução da fitotoxicidade do metal e sua viabilidade para programas de remediação da área.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no experimento, classificado como Vertissolo, foi coletado próximo à área de descarte de resíduo da fábrica da COBRAC, às margens da via férrea no município de Santo Amaro da Purificação, BA, na camada de 0-20 cm, com concentração de Pb de 11.707 mg kg⁻¹ - método USEPA 3050B (USEPA, 1996). O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 4 mm. Foram retiradas subamostras, que foram peneiradas em malha de 2 mm para caracterização química e física (Quadro 1), conforme Embrapa (1997, 1999).

As doses dos produtos foram estabelecidas com base no teor de C (ácidos húmicos do vermicomposto - AHv 50 dag kg⁻¹ de ácido húmico; ácidos húmicos comerciais - AHc 40 dag kg⁻¹ de ácido húmico; e carvão vegetal - CV 55 dag kg⁻¹ de carvão vegetal), correspondendo a 0; 0,75; 1,5; 3,0; e 7,5 g kg⁻¹ de C. O teor de C do AHv foi determinado pelo método Walkley-Black modificado (Embrapa, 1999); para o CV, o teor de carbono foi mensurado em um analisador elementar (Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O Analyzer); e para o AHc considerou-se o teor fornecido pelo fabricante. A extração dos ácidos húmicos do vermicomposto foi realizada pelo método de extração alcalina adaptado, a partir da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996). Após extração, os ácidos húmicos foram submetidos à diálise e liofilizado. Os ácidos húmicos comerciais utilizados no experimento foram do fabricante Aldrich e apresentava 40,15 % como garantia para C.

Para a produção do carvão vegetal ativado foram utilizados blocos de madeira (5 × 5 × 15 cm) de *Eucalyptus* sp., que foram carbonizados em forno num ambiente livre de oxigênio por 8 h com temperatura de 350 °C. Após o processo de carbonização, o carvão foi triturado, macerado em almofariz e depois tamisado em peneira de 100 mesh. Para ativação, o carvão já peneirado foi mantido em refluxo na presença de HNO₃ 4,4 mol L⁻¹, por 4 h contabilizadas após ebulição, permanecendo em repouso por 12 h. A filtração foi realizada a vácuo, utilizando papel-filtro faixa azul;

após, o material sólido foi submetido à diálise, de acordo com procedimento adotado por Trompowsky et al. (2005).

Milho (*Zea mays*) foi utilizado como planta-teste. As plantas foram cultivadas em vasos em casa de vegetação por um período de 43 dias, sendo a umidade do solo mantida a 80 % da capacidade máxima de retenção. A fertilização foi realizada aplicando uma solução contendo 200, 200 e 150 mg kg⁻¹ de N, P, K, respectivamente, na forma de CH₄N₂O, NH₄H₂PO₄ e K₂SO₄. Ao final do experimento, as plantas foram coletadas rente ao solo e separadas em parte aérea e raízes. Após a secagem, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Willey e submetido à digestão nítrico-perclórica para determinação de Pb.

Com base nos teores dos elementos e na produção de massa de matéria seca, foram calculadas as quantidades acumuladas de Pb nas raízes e na parte aérea e o índice de translocação do metal (Abichequer & Bohnen, 1998).

Os teores de clorofila *a* e *b* nas folhas foram utilizados como variáveis que refletem a toxicidade de Pb nas plantas. Diversos trabalhos têm demonstrado que essa medida pode ser útil para avaliar o estresse de metais em plantas e para monitorar áreas contaminadas (Silva et al., 2012; Marques & Nascimento, 2013). Para tal análise, foi coletado o terço médio de uma folha por planta. Tais frações das folhas foram envoltas em papel-alumínio, colocadas em caixa de isopor com gelo e transportadas para o laboratório, quando foram congeladas. No dia seguinte, 200 mg das amostras foram trituradas na presença de acetona a 80 %; em seguida, o extrato foi filtrado em tecido de náilon fino e o volume completado para 25 mL com acetona 80 %. O extrato foi centrifugado por 15 min a 1.000 rpm, depois o teor de clorofila foi determinado por espectrofotometria (Arnon, 1949).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, esquema fatorial 3 × 5, com três repetições, sendo constituído por materiais amenizantes (ácidos húmicos do vermicomposto, ácidos húmicos comerciais e carvão vegetal ativado) e cinco doses de carbono (0; 0,75; 1,5; 3,0 e 7,5 g kg⁻¹ de C) aplicadas em vasos preenchidos com 1 kg de solo. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, Teste de Tukey a 5 % de significância para comparação das médias dos tratamentos e análise de regressão para as doses.

Quadro 1. Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	CO	Areia	Silte	Argila
	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								%	g kg ⁻¹			
7,6	40	0,26	9,6	1,7	0,3	0,0	0,0	11,8	11,8	100	15,7	743	154	103

SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; CO: carbono orgânico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição dos amenizantes ao solo teve forte influência na produção de matéria seca da parte aérea e da raiz do milho. A maior produção de matéria seca da parte aérea e da raiz (34 e 50 %, respectivamente) foi obtida nas plantas tratadas com AHv (Figura 1). Esse resultado demonstra a maior capacidade do AHv em amenizar os efeitos tóxicos do Pb nas plantas, provavelmente em razão do seu maior efeito sobre a diminuição da disponibilidade do elemento no solo. A adição de AHc na dose equivalente a 7,5 g kg de C no solo aumentou em 25 % a produção de matéria seca da parte aérea e em 34 % a produção de raízes. Para o CV, o aumento da produção de matéria seca da parte aérea foi de até 24 e 37 % para a raiz, quando comparado a maior dose com o controle. Park et al. (2011), avaliando o efeito da aplicação de biochar (biomassa carbonizada) na imobilização de metais e sua eficiência em promover o crescimento de plantas, observaram que a aplicação desse material derivado de esterco de frango aumentou em 353 e 572 % a biomassa da parte aérea e raiz, respectivamente. Os autores atribuíram esse maior rendimento de biomassa para a mostarda da Índia à redução significativa nos teores trocáveis de Cd, Cu e Pb dos solos.

É possível que o maior rendimento de biomassa seca das plantas tratadas com o AHv seja influenciado pelo efeito dos ácidos húmicos como promotores do crescimento vegetal. Canellas et al. (2002), estudando os ácidos húmicos isolados de vermicomposto no desenvolvimento de raízes laterais e na atividade da H-ATPase na membrana plasmática, observaram elevada proliferação de raízes laterais em plantas de milho. Os ácidos húmicos também estimularam a atividade da H-ATPase na membrana plasmática, o que estimula o alongamento celular.

Os teores de Pb na raiz do milho foram reduzidos em 52 % quando se adicionou 7,5 g kg de C no solo na forma de AHv (Figura 2), enquanto esse valor foi de 31 % para o CV e de 28 % para o AHc. A redução dos teores de Pb na raiz refletem a diminuição da disponibilidade do elemento no solo, em decorrência da aplicação das fontes de C. Viana (2011), avaliando o uso de amenizantes orgânicos (solomax e turfa) como mitigadores da toxicidade de Pb para plantas de pinhão-mansão em solo contaminado por descarte de sucata automobilística, observou que as doses de solomax promoveram decréscimo de 48 % na concentração de Pb na raízes das plantas.

Em decorrência da aplicação das doses de amenizantes, verificou-se redução do teor de Pb na parte aérea do milho. A maior dose de AHv

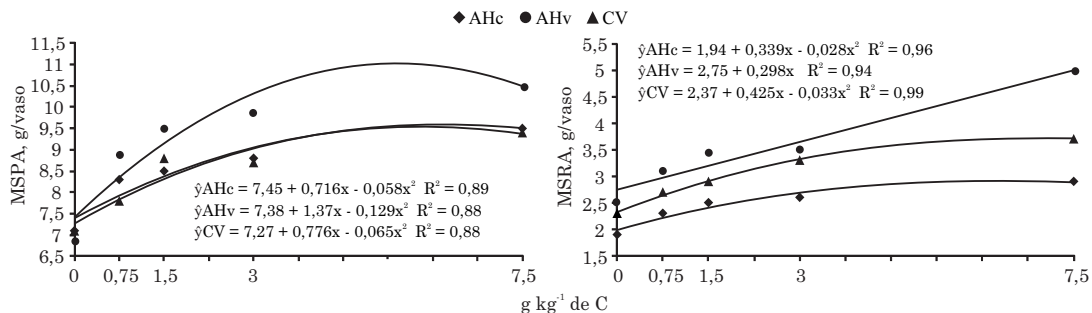


Figura 1. Produção de matéria seca da raiz (MSRA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de *Zea mays* em função de doses de carbono aplicadas ao solo via ácidos húmicos comerciais (AHc), ácidos húmicos extraídos de vermicomposto (AHv) e carvão vegetal ativado (CV).

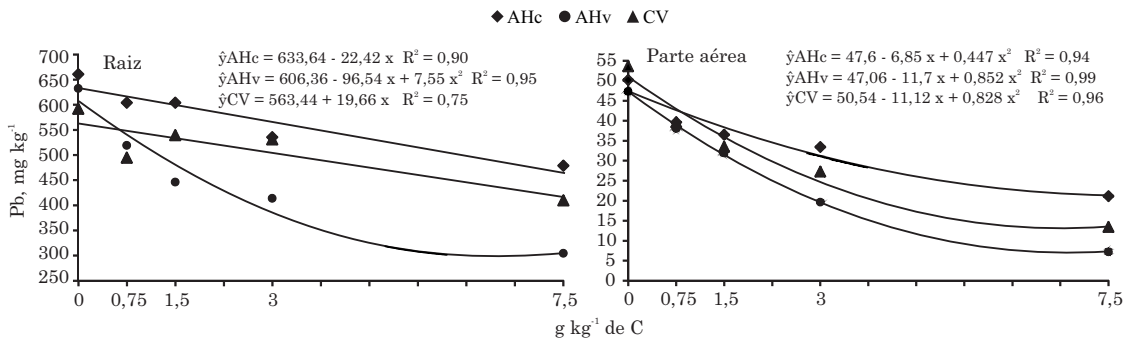


Figura 2. Teores de chumbo na raiz e na parte aérea de milho em função de doses de carbono aplicadas ao solo via ácidos húmicos comerciais (AHc), ácidos húmicos extraídos de vermicomposto (AHv) e carvão vegetal ativado (CV).

proporcionou redução de 85 % no teor de Pb na parte aérea do milho, diminuindo-o de 47,3 para 7,2 mg kg⁻¹ (Figura 2). O solo tratado com a maior dose de CV apresentou diminuição de 75 % no teor de Pb na parte aérea, reduzindo de 53,6 para 13,4 mg kg⁻¹. O AHc, por sua vez, diminuiu o teor de Pb na parte aérea em 58 % (50,2 para 21,1 mg kg⁻¹). Esses dados corroboram com os de Singha et al. (2010), que avaliaram a aplicação de esterco e fertilizante NPK, isoladamente e combinados, na redução da disponibilidade de metais pesados em solo contaminado e posterior cultivo de beterraba. Os autores observaram que a maior redução nos teores disponíveis no solo de Pb, em torno de 8 %, foi decorrente do tratamento com fertilizante orgânico. A diminuição dos teores disponíveis de Pb no solo acarretou menor absorção do metal pelas plantas.

Para o índice de translocação de Pb, não foi observada significância para a interação das doses com os tratamentos, apresentando significância estatística apenas para o efeito doses, independentemente da fonte de C (Figura 3). Verifica-se redução do índice em relação ao aumento das doses de C oriundo das diferentes fontes. Esse resultado demonstra que a aplicação dos amenizantes testados pode ser útil para redução da contaminação da cadeia trófica, uma vez que a transferência de Pb para a parte aérea é sensivelmente reduzida. Para técnicas como a

fitoestabilização, esse efeito é desejável, pois diminui os riscos de o elemento provocar danos ao equilíbrio do ecossistema e à saúde pública. O acúmulo de Pb em partes comestíveis é uma das principais rotas de exposição de seres humanos e animais ao elemento (Lima et al., 2013). É importante destacar que a concentração de Pb no solo estudado (11707 mg kg⁻¹) ultrapassa o valor de prevenção e de investigação para os cenários residencial, agrícola e industrial (CONAMA, 2009), devendo a área ser obrigatoriamente submetida a um processo de remediação, visando reduzir o risco ecológico e à saúde humana.

Karami et al. (2011) estudaram a aplicação de um composto e de biomassa carbonizada na redução da disponibilidade no solo e na absorção de Pb por plantas de azevém. Os autores verificaram que a aplicação combinada do composto com a biomassa carbonizada reduziu o coeficiente de transferência do Pb para plantas de azevém em relação ao controle.

Os teores de clorofila *a* e *b* aumentaram por causa da aplicação dos amenizantes (Figura 4). A elevação do teor de clorofila *a* foi diretamente proporcional ao aumento das doses de AHv, o que sugere a redução do estresse causado pelo Pb nas plantas. Os danos ao aparato fotossintético são considerados efeitos tóxicos importantes de metais pesados nas plantas (Silva et al., 2012). Santos et al. (2011), avaliando a resposta de *Brachiaria decumbens* submetida a diferentes concentrações de Cd e Zn no solo nos teores de enzimas antioxidantes, clorofila e pigmentos, observaram que o conteúdo de clorofila *a* + *b* decresceu do controle para os tratamentos e relacionaram o sintoma de clorose com o elevado conteúdo de metais nas folhas, o que correspondeu a um decréscimo em ambas as concentrações de clorofila *a* e *b*.

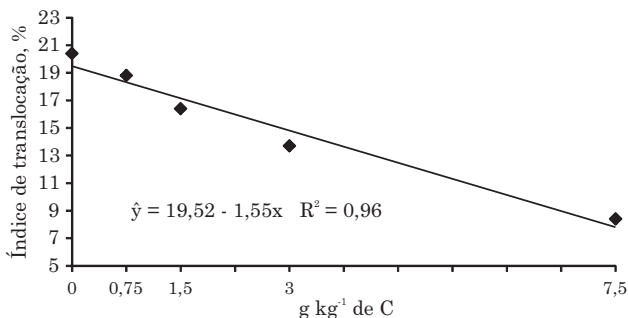


Figura 3. Índice de translocação de chumbo em plantas de milho em função de doses de carbono aplicadas ao solo via substâncias húmicas e carvão vegetal ativado.

CONCLUSÕES

1. Os amenizantes aplicados no solo contaminado foram eficientes em diminuir o estresse provocado por Pb nas plantas, sendo a maior eficiência obtida para os AHv, seguida pelo CV e pelos AHc.

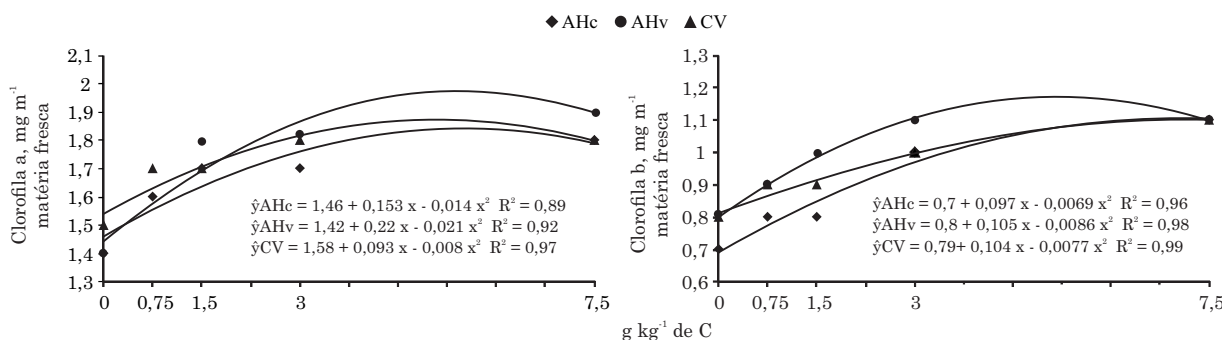


Figura 4. Teor de clorofila *a* e *b* em plantas de milho, em função de doses de carbono aplicadas ao solo via ácidos húmicos comerciais (AHc), ácidos húmicos extraídos de vermicomposto (AHv) e carvão vegetal ativado (CV).

2. Os teores de clorofila nas plantas foram importante indicador do estresse provocado pelo Pb nas plantas e do efeito da aplicação de substâncias húmicas e carvão vegetal ativado sobre aparato fotossintético de plantas sob estresse do metal. Medidas diretas ou indiretas desses teores podem ser utilizadas no monitoramento de áreas contaminadas por chumbo.

3. Todos os amenizantes testados diminuiram a translocação de Pb para a parte aérea das plantas, podendo ser recomendados para programas de fitoestabilização de Pb em solos.

LITERATURA CITADA

- ABICHEQUER, A.D. & BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. R. Bras. Ci. Solo, 22:21-26, 1998.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol., 24:1-15, 1949.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; FAÇANHA, A.L.O. & FAÇANHA, A.R. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. Plant Physiol., 130:1951-1957, 2002.
- CARVALHO, A.M.M.L. Efeito da impregnação da madeira de *Eucalyptus grandis* com sais ignífugos na produção e na qualidade do carvão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 79p. (Tese de Doutorado)
- CARVALHO, F.M.; SILVANY NETO, A.M.; TAVARES, T.M.; COSTA, A.C.A.; CHAVES, C.R.; NASCIMENTO, L.D. & REIS, M.A. Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. Rev. Panam. Salud. Publica/Pan. Am. J. Public Health, 13:19-24, 2003.
- CHEN, Y.X.; HUANG, X.D.; HAN, Z.Y.; HUANG, X.; HUB, B.; SHI, D. Z. & WUA, W.X. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. Chemosphere, 78:1177-1181, 2010.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 420, de 28 de Dezembro de 2009. Brasília-Brasil.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, 1999. 370p.
- KANG, J.; ZHANG, Z. & WANG, J.J. Influence of humic substances on bioavailability of Cu and Zn during sewage sludge composting. Bioresour. Technol., 102:8022-8026, 2011.
- KARAMI, N.; CLEMENTE, R.; JIMÉNEZC, E.M.; LEPP, N.W. & BEESLEY, L. Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. J. Hazard. Mater., 191:41-48, 2011.
- LIMA, F. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ACCIOLY, A. M. A.; SOUSA, C. S. & CUNHA FILHO, F. F. Bioconcentração de chumbo e micronutrientes em hortaliças cultivadas em solo contaminado. R. Ci. Agron., 44: 234-241, 2013.
- MARQUES, M.C. & NASCIMENTO, C.W.A. Analysis of chlorophyll fluorescence spectra for the monitoring of Cd toxicity in a bio-energy crop (*Jatropha curcas*). J. Photochem. Photobiol. B. Biol., 127:88-93, 2013.
- MELO, E.E.C.; GUILHERME, L.R.G.; COSTA, E.T.S.; FAQUIN, V. & NASCIMENTO, C.W.A. Accumulation of arsenic and nutrients by castor bean plants grown on an as-enriched nutrient solution. J. Hazard. Mater., 168:479-483, 2009.
- PARK, J.H.; CHOPPALA, G.K.; BOLAN, N.S.; CHUNG, J.W. & CHUASAVATHI, T. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. Plant Soil, 348:439-451, 2011.
- PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. Adv. Agron., 75:57-133, 2002.
- RUTTENS, A.; COLPAERT, J.V.; MENCH, M.; BOISSON, J.; CARLEER, R. & VANGRONVELD, J. Phytostabilization of a metal contaminated sandy soil. II: Influence of compost and/or inorganic metal immobilizing soil amendments on metal leaching. Environ. Pollut., 144:533-539, 2006.
- SANTIBÁÑEZ, C.; VERDUGO, C. & GINOCCHIO, R. Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of *Lolium perenne*. Sci. Total Environ., 395:1-10, 2008.
- SANTOS, F.S.; MAGALHÃES, M.O.L.; MAZUR, N. & AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. Sci. Agric., 64:506-512, 2007.
- SANTOS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; GARBISU, C.; BARRUTIA, O. & BECERRIL, J.M. Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *Brachiaria decumbens* Stapf submetida à contaminação com Cd e Zn. Quím. Nova, 34:16-20, 2011.
- SILVA, A.J.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; GOUVEIA-NETO, A.S. & SILVA-JR, E.A. LED-Induced chlorophyll fluorescence spectral analysis for the early detection and monitoring of cadmium toxicity in maize plants. Water Air Soil Pollut., 223:3527-3533, 2012.
- SINGHA, A.; AGRAWALA, M. & MARSHALLB, F.M. The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area. Ecol. Eng., 36:1733-1740, 2010.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D., ed. Methods of soil analysis: Chemical methods. Madison, Soil Science Society America, 1996. Part 3. p.1018-1020. (Soil Science Society of America, Series, 5)

- TROMPOWSKY, P.M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.; HOCKADAY, W.C. & HATCHER, P.G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. *Org. Geochem.*, 36:1480-1489, 2005.
- USEPA. Method 3050B. Revision 2 December 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em 10 abr. 2013.
- VIANA, E.M. Fitoextração em solo contaminado com metais pesados. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2011. 133p. (Tese de Doutorado)