



## **AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.), CULTIVADO EM SOLO CONTAMINADO POR ZINCO, COBRE E CÁDMIO**

**Ramara Sena de Souza<sup>1</sup>, Lúcia Helena Garófalo Chaves<sup>2</sup>, Maria A. Estrela<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

O aumento das atividades industriais e de mineração aliado ao uso inadequado de fertilizantes e pesticidas têm contribuído para a contaminação do solo, cursos de água e lençol freático por metais pesados. Na perspectiva de explorar o potencial extrator de metais pesados do solo que algumas plantas possuem, várias pesquisas têm sido realizadas e, por se tratar de uma oleaginosa, o girassol tem sido foco de estudos que verifiquem o seu potencial fitorremediador. Dentro deste contexto o presente trabalho objetivou avaliar os parâmetros biológicos indicativos do desenvolvimento do girassol, sendo submetido a cultivo em solo contaminado por quantidades crescentes de Zn, Cu e Cd. O experimento foi realizado em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado; os tratamentos consistiram em cinco doses de zinco (0; 20; 40, 60 e 80 mg dm<sup>-3</sup>), cobre (0; 20; 40, 60 e 80 mg dm<sup>-3</sup>) e cádmio (0; 10; 20, 30 e 40 mg dm<sup>-3</sup>), com três repetições cada. Os sintomas da fitotoxicidade dos metais nas plantas do girassol foram mais intensos conforme o aumento das doses dos metais utilizados. O tempo de cultivo do girassol foi reduzido pela toxicidade dos metais Zn, Cu e Cd, os quais prejudicaram o desenvolvimento e crescimento normal da cultura. As concentrações crescentes utilizadas de Zn, Cu e Cd diminuíram o crescimento das plantas e a produção da fitomassa.

**Palavras-chave:** fitorremediador, contaminação, oleaginosas

### **ABSTRACT**

The increase in industrial activities and mining combined with inadequate use of fertilizers and pesticides have contributed to the contamination of soil, waterways and groundwater by heavy metals. In order to explore the potential extractor heavy metals from the soil that plants have some, several studies have been carried out, because it is an oil, sunflower has been the focus of study has the potential phytoremediator. Within this context, this study aimed to evaluate the biological parameters indicative of the development of the sunflower, being subjected to growing in soil contaminated with increasing amounts of Zn, Cu and Cd. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized design, the treatments consisted of five doses of zinc (0, 20, 40, 60 and 80 mg dm<sup>-3</sup>), copper (0, 20, 40, 60 and 80 mg dm<sup>-3</sup>) and cadmium (0, 10, 20, 30 and 40 mg dm<sup>-3</sup>) with three replicates. Symptoms of fitotoxicidade metals in plants of sunflower were more severe with increasing doses of metals used. The time of cultivation of sunflower was reduced by toxicity of the metals Zn, Cu and Cd which hindered the normal growth and development of culture. The increasing concentrations used in Zn, Cu and Cd decreased plant growth and production of biomass.

**Keywords:** phytoremediator, contamination, oil plants

<sup>1</sup> Aluna de Curso de Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFPG/Campina Grande - PB, E-mail: [ramarasena2005@yahoo.com.br](mailto:ramarasena2005@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Profa. Doutora Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, UFPG/Campina Grande - PB, E-mail: [lhgarofalo@hotmail.com](mailto:lhgarofalo@hotmail.com)

<sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, Pós-Graduanda, Depto. de Engenharia Agrícola, UFPG/Campina Grande - PB, E-mail: [alexandraestrela@hotmail.com](mailto:alexandraestrela@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades antrópicas gera passivos ambientais, principalmente provenientes da produção de subprodutos indesejáveis à cadeia produtiva. Esse fato alerta a sociedade pelos impactos ecológicos causados pelo excesso de elementos potencialmente tóxicos no sistema solo-planta. Uma das principais causas é o descarte no ambiente em locais impróprios. Seus geradores buscam destino aos rejeitos de forma economicamente viável e de baixo custo ou, se possível, sem custo algum.

Processos industriais como siderurgia, metalurgia, galvanoplastia, petroquímicas, aplicação de defensivos agrícolas, de fertilizantes, lodos de esgotos domiciliares e industriais, queima de combustíveis fósseis, águas residuárias, resíduos de indústrias de beneficiamento químico, entre outros, são fontes de contaminação do solo por metais pesados.

A remediação de áreas degradadas passou a ser uma exigência legal e um compromisso social que precisa ser executado. Dentre as várias formas de mitigar contaminantes dos solos, além das técnicas físico-químicas que possuem elevado custo, pode-se citar a fitorremediação, que emprega o uso de plantas para degradar, extrair (acumulação ou volatilização) e estabilizar (imobilização) os contaminantes. Essa técnica apresenta a vantagem de poder ser utilizada em grandes áreas a um baixo custo e, ainda, de melhorar a paisagem e a estética local, de ser uma técnica conservacionista, de valorizar as áreas adjacentes com baixo custo energético.

A resistência das plantas aos íons de metais pesados pode ser obtida por um mecanismo em que a mesma os evita, o que inclui a imobilização do metal nas raízes e na parede celular. A tolerância aos metais pesados está baseada no seqüestro dos íons dos metais nos vacúolos, sua ligação com ligantes apropriados como os ácidos orgânicos, proteínas e peptídeos, e na presença de enzimas que podem funcionar a altos níveis de íons metálicos (GARBUSU & ALKORTA, 2001).

Devido à sua carga, os íons metálicos não podem se mover livremente nas membranas celulares. Seu transporte para dentro das células deve ser mediado por proteínas transportadoras das membranas, nas quais os íons metálicos se ligam. Mas grande parte das frações iônicas fica adsorvida nos sítios extracelulares carregados negativamente das paredes celulares das raízes. Esta fração não pode ser translocada para a parte aérea. Os metais também podem ser complexados e seqüestrados em estruturas celulares como os vacúolos, tornando-se indisponíveis para translocação para a parte aérea (LASAT, 2000).

A capacidade da biomassa das plantas em acumular altas concentrações de metais sem efeitos prejudiciais ao seu crescimento, enfatiza seu potencial em retirar metais de solos e da água (RASKIN & ENSLEY, 2000). Entretanto, a absorção de metais pesados varia de acordo com a espécie vegetal e entre as diferentes partes da planta, absorvendo pelas raízes, íons tóxicos de metais pesados, particularmente Cd, Pb, Cu, Hg, Zn e Ni, que se acumulam em suas células (MOHR & SCHOPFER, 1995).

A acumulação de metais pelas plantas também depende de fatores do solo como o pH, matéria orgânica, concentração do metal, presença de ânions, sua textura, além da temperatura, luminosidade, umidade, presença de corretivos e fertilizantes, aeração, potencial redutor do solo e presença de micorrizas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992; BERTON, 1992).

Segundo Accioly & Siqueira (2000) a capacidade de transferência de metais do solo para a planta é alta com baixas concentrações de metais e baixa com altas concentrações de metais. No solo a maioria dos metais é muito insolúvel para se mover livremente no sistema vascular das plantas, logo elas geralmente formam precipitados de carbonatos, sulfatos, ou fosfatos imobilizando-os em compartimentos intra e extracelulares. Pombo (1995) comenta que metais pesados adicionados ao solo na forma de sais, como cromatos, nitratos, cloretos e sulfatos, são mais facilmente absorvidos pelas plantas do que quantidades equivalentes dos mesmos adicionados ao solo na forma de lodos industriais ou domésticos. Alguns metais são acumulados nas raízes (especialmente o Pb), provavelmente devido a barreiras fisiológicas contra o transporte de metais para as partes aéreas, enquanto outros são facilmente transportados nas plantas, como o Cd (GARBUSU & ALKORTA, 2001). Quanto à absorção de metais pesados pelas raízes, KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1992) citam que a mesma pode ser passiva com a difusão de íons da solução externa para a endoderme das raízes, ou ativa, requerendo energia metabólica e ocorrendo contra um gradiente químico.

De acordo com seu mecanismo de tolerância, as plantas podem ser: exclusoras, quando a concentração do metal absorvido é mantida constante até que seja atingido o nível crítico no substrato; indicadoras, quando ocorre absorção passiva e as concentrações internas refletem os teores externos; e acumuladoras, que são capazes de manter níveis internos mais elevados que do substrato de cultivo (SIMÃO & SIQUEIRA, 2001; MARQUES et al., 2000; ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000). As plantas acumuladoras são próprias para fitoextração e exclusoras para fitoestabilização (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000).

A fitoextração é uma técnica de fitorremediação que busca extrair metais pesados de solos contaminados, empregando plantas hiperacumuladoras, que tem a capacidade de armazenar altas

concentrações de metais específicos (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal), removendo os metais do solo pela absorção e acúmulo nas raízes e na parte aérea, podendo ser posteriormente dispostas em aterros sanitários ou recicladas para a recuperação do metal.

Diante da importância do estudo dessa técnica, por ser uma tecnologia recente e promissora, é evidente a necessidade de serem testadas novas culturas, especialmente de clima tropical. Portanto objetiva-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento da cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*), submetida a diferentes níveis de contaminação do solo por Zn, Cu e Cd, tendo em vista que a mesma tem sido foco de estudos na perspectiva da determinação do seu potencial extrator.

## MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram realizados em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, no período de junho a novembro de 2007, utilizando-se vasos plásticos com 25 L de capacidade, perfurados na base para permitir drenagem, os quais foram preenchidos com 23 kg de material de solo franco-arenoso (NEOSSOLO REGOLITICO Eutrófico típico), coletado nos primeiros 20 cm da camada superficial.

Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado com três repetições sendo cada um com cinco níveis, perfazendo o total de quarenta e cinco unidades experimentais, que consistiram da aplicação de zinco (Zn) (0; 20; 40; 60 e 80 mg dm<sup>-3</sup>), de cobre (Cu) (0; 20; 40; 60 e 80 mg dm<sup>-3</sup>) e de cádmio (Cd) (0; 10; 20; 30 e 40 mg dm<sup>-3</sup>), utilizando-se como fontes dos elementos as substâncias sulfato de zinco, o sulfato de cobre e o sulfato de cádmio, respectivamente, os quais foram aplicados ao solo em fundação, antes do plantio.

O solo de cada unidade experimental, após ter recebido o metal pesado, ficou incubado por 25 dias mantendo-se o teor de umidade a 50% de sua capacidade máxima de retenção de água. Após este período cada unidade experimental recebeu uma adubação equivalente a 100 mg kg<sup>-1</sup> de N, 300 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando como fontes de nutrientes, a uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. O fósforo e 30% da dose de potássio foram aplicados em fundação, e o restante da dose de potássio e a dose de nitrogênio foram parceladas três vezes e aplicadas em cobertura.

Cada unidade experimental recebeu dez sementes da cultivar Embrapa BRS 122 V2000, permanecendo após o desbaste uma planta por unidade. Aos 15, 30 e 50 dias após a semeadura (DAS) foram avaliados os parâmetros biológicos indicativos do desenvolvimento das plantas, sendo eles a altura das plantas, número e comprimento de folhas. O cálculo da área foliar (AF) foi feito de acordo com o Maldaner et al. (2009), utilizando a fórmula  $AF = \sum (1,758 \times L^{1,7069})$ , sendo a área foliar (AF) em cm<sup>2</sup> e L o comprimento da nervura central da folha em cm.

As plantas foram colhidas aos 50 DAS, sendo o material vegetal separado em raízes, caules e folhas, os quais, depois de lavado em água destilada e seco em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante, foram submetidos à pesagem, obtendo-se dessa forma os pesos secos dos materiais colhidos.

Os dados foram analisados através da análise de variância utilizando a análise de regressão para os dados que foram significativos (ASSISTAT).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença dos metais pesados zinco, cobre e cádmio no solo, estimulou uma série de alterações fisiológicas na cultura do girassol. O desenvolvimento e o crescimento normal das plantas foram prejudicados, de forma que não houve uniformidade, devido à variação das doses dos metais utilizados.

Os sintomas de fitotoxicidade nas plantas do girassol foram visivelmente observados, sendo mais intensos conforme o aumento das concentrações dos metais; estes sintomas apareceram principalmente nas folhas, as mesmas apresentaram clorose e posterior necrose, tornando-se amareladas e, em alguns casos caindo, configurando o aceleração da senescência da planta, o que foi constatado, pois o tempo de cultivo foi reduzido (50 dias), quando comparado com tempo normal para o encerramento do ciclo de vida das plantas do girassol.

Os efeitos dos metais ainda surgiram em alguns casos nas raízes das plantas, pois as mesmas apresentaram encurtamento.

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (1992) os sintomas de toxidez provocados pelo Zn, são clorose em folhas jovens e redução do crescimento. O excesso de íons de cobre causa danos ao tecido e ao alongamento das raízes, alterações na permeabilidade da membrana, inibição do transporte de elétrons fotossintéticos, imobilização do Cu nas paredes e vacúolos, e clorose. McNichol e Beckett (1985) relata que os teores acima de 4 mg kg<sup>-1</sup> de Cd podem ocasionar toxicidade em muitas plantas, diminuindo a produção

em 10%. Sua fitotoxicidade inibe a fotossíntese, perturba a respiração e fixação de CO<sub>2</sub>, e altera a permeabilidade das membranas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

As doses de zinco submetidas às plantas não apresentaram diferença significativa no crescimento das mesmas em duas avaliações da altura, ou seja, aos 15 e 50 DAS (Tabela 1), entretanto, aos 30 DAS, houve diferença significativa, mostrando que as plantas de girassol na concentração de 80 mg dm<sup>-3</sup> apresentaram redução significativa no seu crescimento em relação aos demais tratamentos.

Tabela 1 – Parâmetros de altura e número de folhas aos 15, 30 e 50 dias e área foliar aos 50 dias, das plantas submetidas às diferentes concentrações de Zn.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						
		ALTURA DE PLANTAS			NÚMERO DE FOLHAS			ÁREA FOLIAR (50 DAS)
		15 DAS	30 DAS	50 DAS	15 DAS	30 DAS	50 DAS	
Tratamentos	4	23,07 <sup>ns</sup>	150,56*	97,63 ns	6,38**	18,83**	32,57**	354,36 ns
Resíduos	10	10,55	38,63	77,34	1,06	2,80	3,67	128,24
CV %		37,22	21,74	23,73	22,41	14,76	12,17	18,65
Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )		Médias (cm)			Médias (unidade)			Médias (cm <sup>2</sup> )
0		13,00 a	38,60 a	45,80 a	6,31a	15,33 a	20,00 a	71,39 a
20		9,55 a	33,00 ab	38,57 a	5,92 a	12,00 ab	17,33 ab	69,55 a
40		7,85 a	25,33 ab	30,37 a	4,1ab	9,00 b	11,67 c	47,59 a
60		7,64 a	25,00 ab	35,53 a	3,7 ab	9,67 b	13,33 bc	64,17 a
80		5,58 a	21,00 b	34,97 a	2,92 b	10,67 b	16,33 abc	50,91 a
DMS		8,74	16,72	23,66	2,77	4,50	5,15	30,47
Reg. linear			559,87**		24,21 **	40,83**	38,53 **	
Reg. quadrática					0,08 ns	32,59 **	74,67 **	

\* Significativo no nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey; \*\* Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste Tukey; <sup>ns</sup> Não significativo

Independentemente dos tratamentos, a altura das plantas aumentou ao longo do tempo, entretanto, com o aumento das doses de Zn, ocorreu um menor crescimento em altura das plantas do girassol, o que pode ser observado na Figura 1. Os metais pesados são constituintes de enzima que controlam diferentes processos nas plantas (MALAVOLTA, 1994). Por isso observa-se que as concentrações de Zn utilizadas interferiram no crescimento e desenvolvimento das plantas.

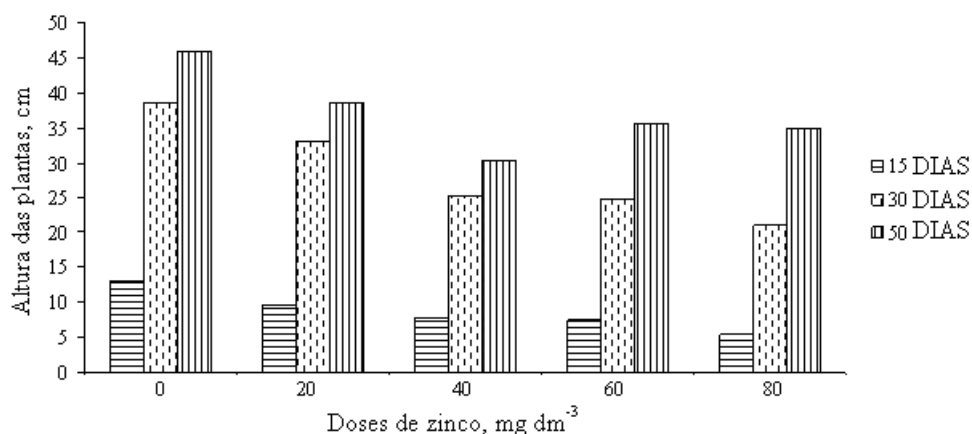


Figura 1 – Média da altura das plantas aos 15, 30 e 50 dias em função das diferentes concentrações de Zn.

Resultados semelhantes ao de Marques et al. (2000) que comentam que em experimento realizado com espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado por vários metais pesados, o crescimento em altura das espécies foi influenciado pela contaminação do solo.

Em relação ao número de folhas das plantas do girassol, observa-se que os tratamentos tiveram efeito significativo ao nível de 1% nas três épocas avaliadas (Tabela 1). Aos quinze dias as plantas submetidas à maior concentração de Zn (80 mg dm<sup>-3</sup>) apresentaram diferença na quantidade de folhas em relação à

testemunha; na segunda e na terceira avaliação foi observado que a partir da concentração de 40 mg dm<sup>-3</sup> houve queda na produção das folhas em relação à testemunha, conforme pode ser analisado na Figura 2.

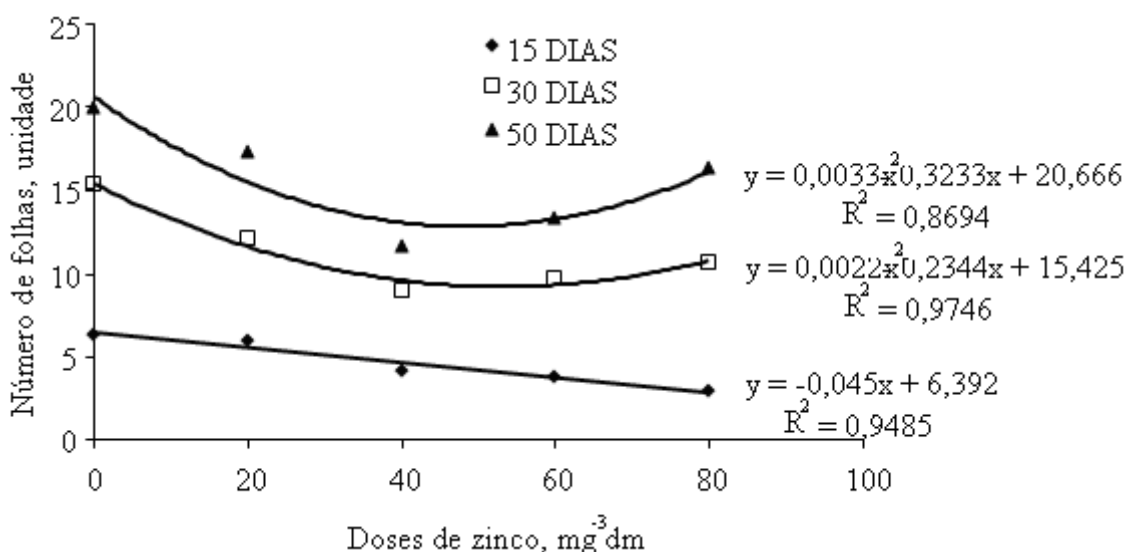


Figura 2 - Médias do número de folhas (aos 15, 30 e 50 dias) de plantas de girassol (*Helianthus annus* L.), cultivadas a diferentes concentrações de zinco.

A área foliar das plantas cultivadas também sofreu diminuição com o aumento das doses de Zn, porém não houve diferença significativa entre as quantidades do metal utilizadas (Tabela 1), ou seja, a mesma não foi drasticamente afetada por esse fator.

O crescimento das plantas de girassol cultivadas em tratamentos com doses de 80 mg dm<sup>-3</sup> de Cu quando comparado com a testemunha, apresentou significativa redução aos 15 DAS (Tabela 2). Pela análise das médias da altura das plantas nas outras épocas, 30 e 50 DAS, embora não defiram significativamente entre os tratamentos, nota-se que houve uma tendência de diminuição do crescimento com as demais doses aplicadas em comparação com a testemunha.

Tabela 2 – Parâmetros de altura e número de folhas aos 15, 30 e 50 dias e área foliar aos 50 dias, das plantas submetidas às diferentes concentrações de Cu.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						
		ALTURA DE PLANTAS			NÚMERO DE FOLHAS			ÁREA FOLIAR (50 DAS)
		15 DAS	30 DAS	50 DAS	15 DAS	30 DAS	50 DAS	
Tratamentos	4	34,19 *	155,99 ns	97,09 ns	3,31ns	14,43 ns	22,90 ns	344,35 ns
Resíduos	10	9,12	61,03	92,08	1,79	5,47	7,00	255,51
CV %		37,40	27,12	26,05	27,48	19,81	16,13	26,97
Doses de Cu (mg dm <sup>-3</sup> )		Médias (cm)			Médias (unidade)			Médias (cm <sup>2</sup> )
0		13,00 a	38,60 a	45,80 a	6,31a	15,33 a	20,00 a	71,39 a
20		8,49 ab	25,27 a	30,77 a	5,11a	9,67 a	12,67 b	63,28 a
40		8,56 ab	29,83 a	34,23 a	5,23a	11,67 a	16,67ab	49,41 a
60		6,57 ab	31,17 a	35,03 a	3,67a	12,00 a	15,00 ab	65,56 a
80		3,75 b	19,17 a	38,33 a	4,03a	10,33 a	17,67 ab	46,64 a
DMS		8,13	21,02	25,82	3,60	6,29	7,12	43,01
Reg. linear		124,93**						
Reg. quadrática		0,36 ns						

\* Significativo no nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey; \*\* Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste Tukey; <sup>ns</sup> Não significativo

Da mesma forma observada em relação ao Zn, a altura das plantas aumentou ao longo do tempo, entretanto, diminuiu com as doses de Cu (Figura 3).

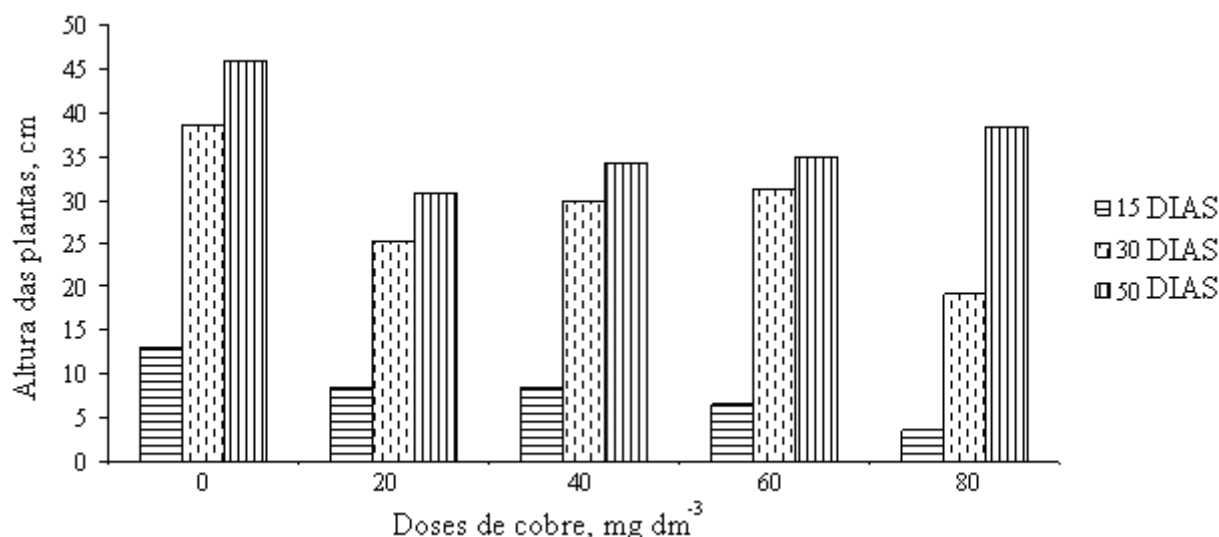


Figura 3 – Média da altura das plantas aos 15, 30 e 50 dias em função das diferentes concentrações de Cu.

O número de folhas e a área foliar das plantas não foram afetados de forma significativa com o aumento das doses de Cu aplicadas, apesar de apresentarem valores mais baixos observados em relação à testemunha.

Com os dados apresentados na Tabela 3, observa-se que os tratamentos com o Cd tiveram efeito significativo na altura de plantas somente aos 15 DAS, mesmo assim, somente o tratamento com 40 mg dm<sup>-3</sup> de Cd diferenciou em relação a testemunha.

Tabela 3 – Parâmetros de altura e número de folhas aos 15, 30 e 50 dias e área foliar aos 50 dias, das plantas submetidas às diferentes concentrações de Cu.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						ÁREA FOLIAR (50 DAS) (cm <sup>2</sup> )
		ALTURA DE PLANTAS			NÚMERO DE FOLHAS			
		15 DAS	30 DAS	50 DAS	15 DAS	30 DAS	50 DAS	
Tratamentos	4	31,64 *	202,75 ns	165,44ns	4,09 **	11,07ns	23,27 **	425,62 ns
Resíduos	10	7,22	63,36	72,79	0,28	3,27	2,87	335,28
CV %		35,38	30,80	25,42	11,77	14,73	10,04	30,87
Doses de Cd (mg dm <sup>-3</sup> )		Médias (cm)			Médias (unidade)			Médias (cm <sup>2</sup> )
0		13,00 a	38,60 a	45,80 a	6,31 a	15,33 a	20,00 a	71,39 a
10		5,33 b	19,00 a	31,87 a	3,75bc	11,00 a	17,67 abc	71,14 a
20		8,23 ab	29,17 a	34,10 a	5,00 ab	13,00 a	18,67 ab	57,68 a
30		6,11 ab	23,13 a	26,30 a	3,98 bc	11,00 a	14,67 bc	44,21 a
40		5,31b	19,33 a	29,70 a	3,44 c	11,00 a	13,33 c	52,16 a
DMS		7,23	21,41	22,95	1,42	4,86	4,55	49,26
Reg. linear		64,06 *			9,05 **		80,03 **	
Reg. quadrática		16,24 ns			0,67 ns		1,93 ns	

\* Significativo no nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey; \*\* Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste Tukey; <sup>ns</sup> Não significativo

Mesmo não tendo observado aos 30 e 50 DAS efeito significativo entre os tratamentos, ocorreu uma tendência de menor desenvolvimento das plântulas quando do aumento das doses de Cd (Figura 4). De acordo com Magnus (1994), até mesmo uma pequena quantidade que varia de 1 a 10 ppm de Cd afeta o crescimento das plantas.

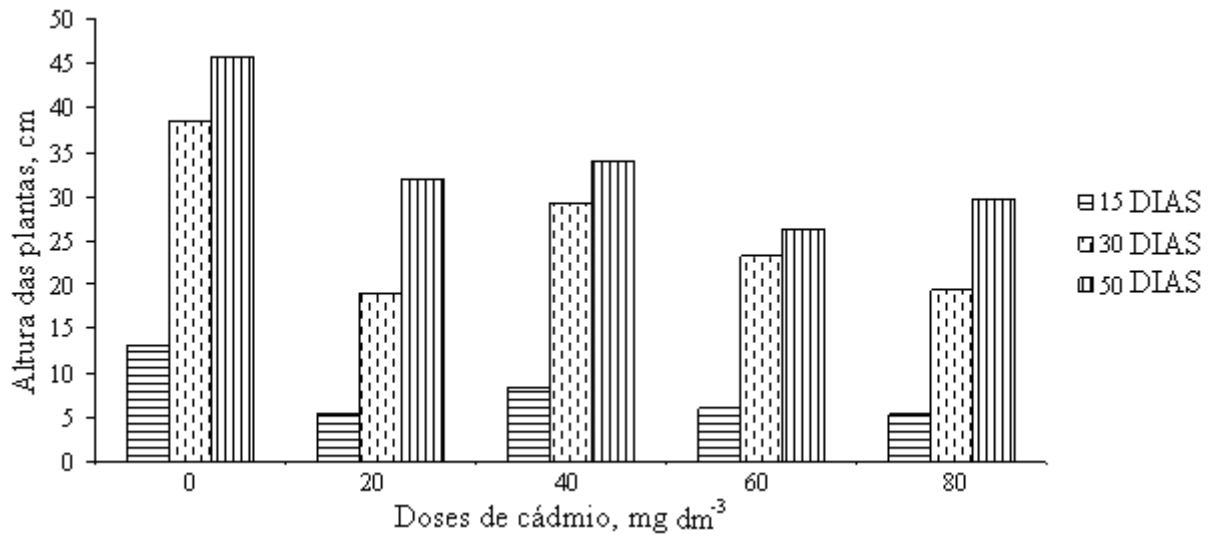


Figura 4 – Média da altura das plantas aos 15, 30 e 50 dias em função das diferentes concentrações de Cd.

A quantidade de folhas por planta apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos com Cd quando das avaliações aos 15 e 50 DAS (Tabela 3). As doses crescentes do Cd provocaram uma diminuição do número de folhas como pode ser observado com as equações de regressão (Figura 5).

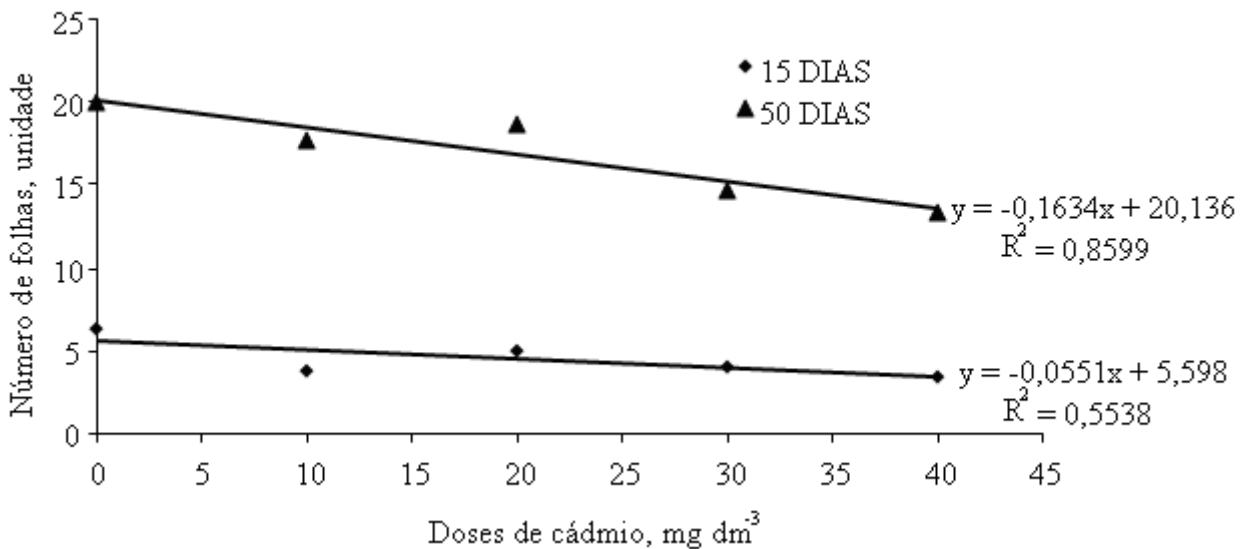


Figura 5 - Médias do número de folhas (aos 15 e 50 DAS) de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivadas a diferentes concentrações de Cd.

O comportamento da altura de plantas submetidas aos tratamentos foi significativo com zinco, cobre e cádmio, somente aos 30, 15 e 15 dias, respectivamente, sendo apresentadas as equações de regressão na Figura 6. Observa-se, que de modo geral, houve uma diminuição na altura das plantas em função do aumento das doses aplicadas ao solo.

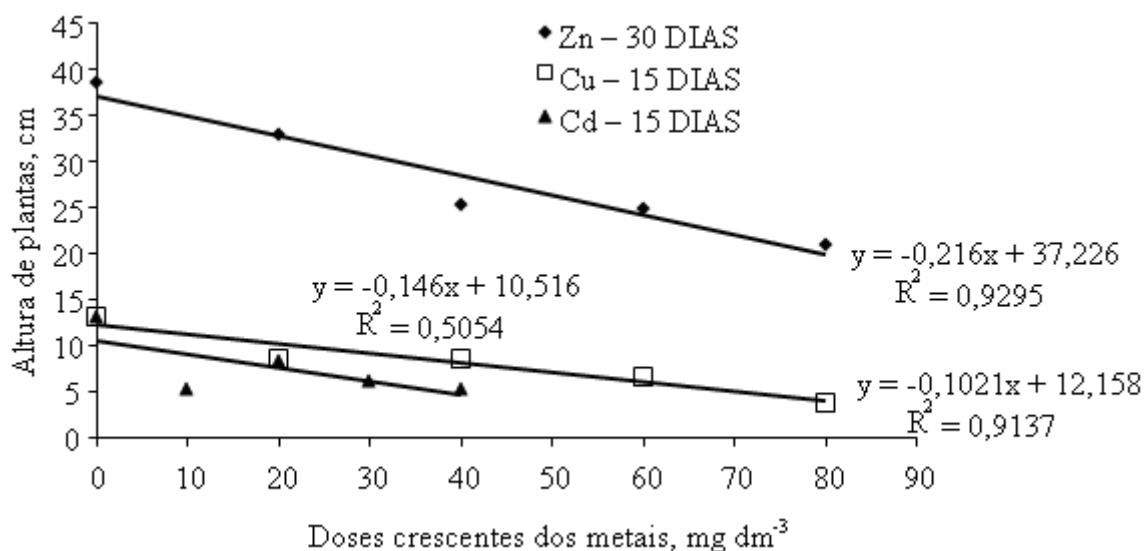


Figura 6 – Comportamento da altura de plantas do girassol em relação as doses crescente de zinco, cobre e cádmio aos 30, 15 e 15 dias após a semeadura, respectivamente.

O efeito da adição do metal Zn ao solo refletiu de forma significativa na fitomassa das variáveis caule e folha (Tabela 4). A aplicação de Cu no solo, não apresentou efeito na fitomassa (Tabela 4); já as doses de Cd mostraram efeito significativo sobre os dados da fitomassa das folhas (Tabela 5).

Tabela 4 - Média da produção da fitomassa seca da parte aérea (caule e folhas) e das raízes do girassol cultivadas aos diferentes níveis de zinco e cobre.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		Zinco			Cobre		
		Caule	Folha	Raiz	Caule	Folha	Raiz
Tratamentos	4	1,75**	2,50*	0,075ns	1,42ns	0,77ns	0,02ns
Resíduos	10	0,13	0,61	0,065	2,74	0,84	0,043
CV %		28,13	38,69	81,50	87,65	40,44	88,35
Doses de Zn/Cu (mg dm <sup>-3</sup> )		-----Medias (g)-----					
0		2,54a	2,84a	0,36a	2,54a	2,84a	0,36a
20		1,46b	2,85a	0,56a	2,72a	2,01a	0,14a
40		0,62b	0,69b	0,15a	1,53a	2,34a	0,16a
60		0,88b	1,57ab	0,30a	1,37a	1,55a	0,23a
80		0,93b	2,18ab	0,20a	1,28a	2,61a	0,27a
DMS		0,97	2,11	0,69	4,45	2,47	0,56
Regressão linear		4,34**	2,01ns				
Regressão quadrática		2,42**	3,83*				

\* Significativo no nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey; \*\* Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste Tukey; <sup>ns</sup> Não significativo



Tabela 5 - Média da produção da fitomassa seca da parte aérea (caule e folhas) e das raízes do girassol cultivadas aos diferentes níveis de cádmio.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Cádmio		
		Caule	Folha	Raiz
Tratamentos	4	0,99ns	3,82*	0,07ns
Resíduos	10	0,37	0,68	0,05
CV %		36,53	35,59	65,95
Doses de Cd (mg dm <sup>-3</sup> )		-----Medias (g)-----		
0		2,54a	2,84ab	0,36a
10		1,70a	3,70 <sup>a</sup>	0,52a
20		1,70a	2,71ab	0,49a
30		1,51a	0,90b	0,21a
40		0,94a	1,44b	0,18a
DMS		1,65	2,22	0,62
Regressão linear			9,36**	
Regressão quadrática			0,46ns	

\* Significativo no nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey;  
 \*\* Significativo no nível de 1% de probabilidade pelo teste Tukey ;  
 ns Não significativo

De acordo com as análises de regressão pode-se observar que os valores da fitomassa de caule e folha das plantas cultivadas com doses crescentes de zinco e da fitomassa das folhas cultivadas com cádmio diminuiram apresentados nas regressões quadráticas (Figura 7).

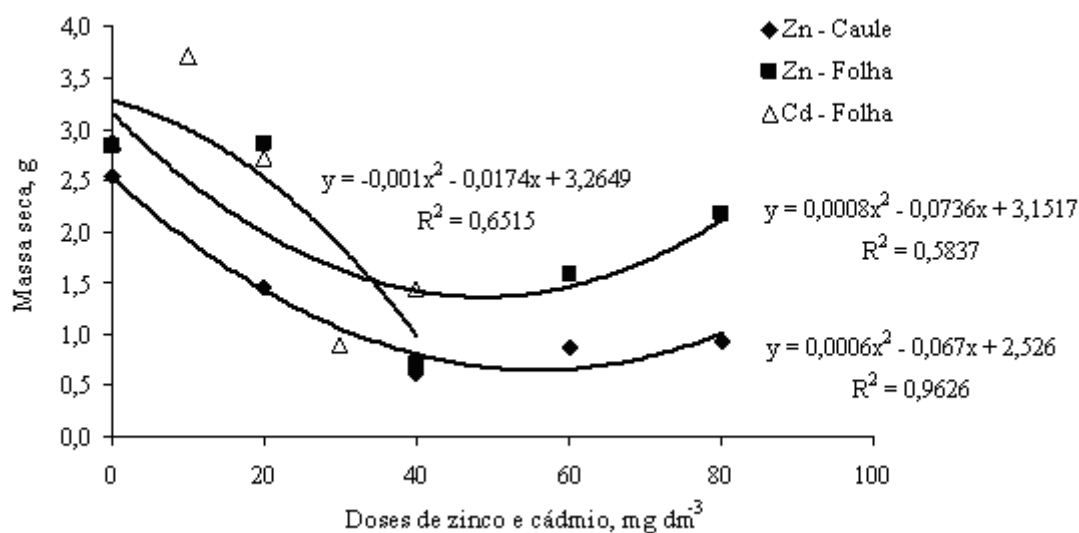


Figura 7 - Médias da fitomassa seca de plantas de girassol (*Helianthus annus* L.), cultivadas a diferentes concentrações de zinco (caule e folha) e cádmio (folha).

## CONCLUSÕES

O tempo de cultivo do girassol foi reduzido pela toxidez dos metais Zn, Cu e Cd, os quais prejudicaram o desenvolvimento e crescimento normal da cultura.

As concentrações crescentes utilizadas de Zn, Cu e Cd diminuíram o crescimento das plantas e a produção da fitomassa.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 212p.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**. Elsevier, v. 77, p. 229 – 236, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 1992.

LASAT, M.M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. **Journal of Hazardous Substance Research**. Elsevier, v.2, 25 p., 2000.

MAGNUS, F.B. **Toxic substances in the environment**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1994.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.

MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BORTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.5, p.1356-1361, 2009.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; MOREIRA, A.M.S.; 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.

McNICHOL, R.D.; BECKKETT, P.H.T. **Plant and Soil**. Elsevier, v. 85, p.107-129, 1985.

MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant physiology**. Berlim: Springer-Verlag, 1995.

POMBO, L.C.A. Absorção de metais pesados pelo azevém (*Lolium multiflorum*) em dois solos do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.30, n.10, p.1217-1224, 1995.

RASKIN, I.; ENSLEY, B. Phytoremediation of toxic metals - using plants to clean up the environment. **Plant Science**. Elsevier, v. 160, p. 1073 – 1075, 2000.

SIMÃO, J.B.P.; SIQUEIRA, J.O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.22, n. 210, p. 18 – 26, 2001.