

Influência da aplicação de doses crescentes de chumbo sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.)

Influence of the increasing levels of lead on the nutrients content and accumulation in cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) seedlings

Haroldo Nogueira de Paiva
Janice Guedes de Carvalho
José Oswaldo Siqueira

RESUMO: Com o objetivo de avaliar os efeitos da toxidez de Pb, mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) foram conduzidas em solução nutritiva de Clark. O ensaio foi conduzido em condições de casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. As mudas foram submetidas a doses crescentes de Pb: 0, 48, 96, 192 e 288 μM , usando como fonte o acetato de chumbo. Para tal, foi adotado um delineamento estatístico de blocos ao acaso, sendo que ao final de 60 dias de exposição ao metal pesado, foram feitas avaliações do teor e do conteúdo de macro e de micronutrientes na matéria seca de raiz, caule, folha, parte aérea e total. Os resultados mostram que, de maneira geral, há uma redução no teor de K, S, Ca, Mg, Mn e Zn e um aumento no teor de P, Cu e Fe, independente da parte da planta analisada, ao passo que o conteúdo de macro e de micronutrientes, de modo geral, sofreu redução. Pode-se concluir que, quando da utilização de áreas que apresentam contaminação por chumbo, há necessidade de verificar o nível de contaminação antes da recomendação de utilizar o cedro como espécie para recomposição.

PALAVRAS-CHAVE: Metal pesado, Nutrição de plantas, Espécie florestal nativa, Toxicidade, Tolerância, Cedro

ABSTRACT: With the objective of verifying the effect of lead application in cedro seedlings an experiment was installed in greenhouse of Department of the Soil Science of the Federal University of Lavras. The experiment followed a statistical delineation of randomized blocks, where the seedlings were cultivated in Clark's nutrient solution and submitted to the increasing levels of Pb: 0, 48, 96, 192 e 288 μM . After 60 days of display to the heavy metal, evaluations were made of macro and micronutrients content and accumulation in the root, stem, leaf, shoot and total dry matter. The results show that, in a general way, there is a reduction in the K, S, Ca, Mg, Mn and Zn content and there is increase in the P, Cu and Fe content, independent of the part of the plant analyzed, while the macro and micronutrients accumulation has reduced. Could be concluded that when of the utilization of areas that present contamination for lead, there is need to verify the level of contamination before the recommendation of using the cedro (*Cedrela fissilis*) as species for recomposition.

KEYWORDS: Heavy metal, Plant nutrition, Native forest species, Toxicity, Tolerance, *Cedrela fissilis*

INTRODUÇÃO

O chumbo está entre os metais pesados mais tóxicos. A contaminação do ambiente por chumbo tem sido atribuída à combustão de gasolina, às atividades industriais, ao uso de fertilizantes, corretivos e ao uso generalizado de inseticidas com elevadas concentrações deste elemento (Lagerwerff, 1972). Além da contribuição antrópica, a ocorrência de solos contaminados com metais pesados não pode ser desprezada. Áreas ricas em minérios, de modo geral, apresentam concentrações de metais pesados que podem atingir níveis tóxicos, sendo que, entre estes metais, o Pb, normalmente está presente.

Segundo Xian (1989), mais de 43% do chumbo presente no solo encontra-se na fração orgânica, sendo o restante ligado a outros componentes do sistema solo, como óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, carbonatos e fosfatos. O teor de Pb no solo varia em função da concentração de húmus, matéria orgânica e argila no solo, sendo o parâmetro argila o mais importante em solos tropicais (Aubert e Pinta, 1977), no entanto, normalmente o chumbo é um elemento traço (menor que 1 mg kg^{-1} no solo e em rochas).

Nas plantas crescendo sobre áreas de mineração o conteúdo de Pb é, geralmente, correlacionado com a concentração deste metal no solo, embora esta relação seja diferente entre os órgãos das plantas (Kabata-Pendias e Pendias, 1984). Por isto é importante conhecer o comportamento de espécies florestais frente a ambientes contaminados por Pb.

Vários estudos descrevem o efeito tóxico do Pb sobre processos como: fotossíntese, mitose e absorção de água, entretanto, os sintomas tóxicos nas plantas não são muito específicos. Efeitos subcelulares podem ser descritos como inibição da respiração e fotossíntese, devido a distúrbios nas reações de transferência de elétrons (Kabata-Pendias e Pendias, 1984). Vários outros efeitos tóxicos têm sido

descritos, dentre eles o fato de provocar distúrbios nutricionais (Huang e Cunningham, 1996; Soares, 1999; Paiva, 2000).

O plantio de espécies lenhosas em ambientes contaminados por metais pesados deve ser realizado com critério, pois, de acordo com Eltrop et al. (1991), espécies lenhosas são menos tolerantes a este tipo de ambiente, quando comparadas com espécies herbáceas e gramíneas. Daí a necessidade de conhecer o comportamento de espécies lenhosas frente a tais ambientes, de forma que a recuperação de áreas degradadas ou de áreas contaminadas seja realizada de forma consciente e com amplas possibilidades de sucesso.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de doses crescentes de Pb, em solução nutritiva, sobre o teor e o conteúdo de macro e de micronutrientes em diferentes partes de mudas de cedro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA, utilizando-se de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.). As mudas foram produzidas em substrato contendo areia lavada e quando apresentavam altura média de 5 cm ou dois pares de folhas definitivas foram repicadas para bandejas plásticas com capacidade de 35 L, contendo solução nutritiva de Clark (Clark, 1975). A concentração de todos os nutrientes estava reduzida a 20%, com aeração constante. Neste ambiente as mudas permaneceram por 15 dias, quando a solução foi substituída e a concentração de todos os nutrientes foi elevada para 30% da normal. Ao final de 15 dias, as mudas foram individualizadas em vasos plásticos, com capacidade de 900 mL, contendo solução nutritiva a 50%, a qual foi trocada a cada 10 dias. Após 20 dias, empregou-se solução normal, e

decorridos mais 10 dias adicionaram-se os tratamentos, ajustando o pH para 5,5.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições, sendo cada repetição representada por um vaso com uma planta, perfazendo, assim, um total de 25 plantas.

Os tratamentos consistiram na aplicação de doses crescentes de chumbo: 0, 48, 96, 192 e 288 μM , usando como fonte o acetato de chumbo $[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$. Na preparação de todas as soluções estoque dos nutrientes e do chumbo, empregaram-se reagentes PA. A solução nutritiva foi preparada utilizando-se água deionizada e, durante o intervalo de renovação da solução, o volume dos vasos foi completado, sempre que necessário, utilizando-se também de água deionizada.

As plantas foram mantidas por 60 dias em exposição ao metal pesado, com renovação da solução nutritiva a cada 10 dias, mantendo-se o pH em 5,5 pela adição de NaOH ou HCl 0,1M. Após este período procedeu-se à colheita das plantas, separando-as em raiz, caule e folhas.

As raízes, o caule e as folhas foram, então, lavadas em água destilada, postas a secar em estufa com circulação de ar a 65° C até peso constante. Determinou-se em balança de precisão (0,01g) o peso de matéria seca, que em seguida foi moída em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 0,38 mm, para ser analisada quimicamente.

Após digestão nítrico-perclórica, os teores de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn na raiz, no caule e nas folhas, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os teores de P foram determinados por colorimetria, teores de S por turbidimetria e os de K por fotometria de chama (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Os conteúdos de P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn, na raiz, no caule, nas folhas, na parte aérea e total foram calculados com base nos teores e nas produções de matéria seca.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ajustadas equações de regressão entre as doses de chumbo aplicadas e o teor e o conteúdo dos diferentes nutrientes analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de macronutrientes

As mudas de cedro, quando submetidas a doses crescentes de chumbo, em solução nutritiva, apresentaram respostas diferenciadas, de acordo com a parte da planta analisada e o teor dos macro e dos micronutrientes estudados. Assim, para os macronutrientes, Tabela 1, verifica-se que o teor radicular de P apresentou resposta tipo quadrática negativa e o teores caulinares e foliares responderam de forma linear positiva. Houve aumento no teor radicular de P, atingindo-se o máximo de 2,9 g kg^{-1} , na dose 225 μM Pb, correspondendo a um aumento de 108% em relação ao tratamento controle. Este aumento no teor radicular de P, pode ser devido ao fato de que a presença de chumbo provoca a precipitação do fósforo, na forma de fosfato de chumbo, conforme preconizado por Kabata-Pendias e Pendias (1984).

Esta mesma tendência foi observada por Soares (1999), trabalhando com espécies de eucalipto e por Huang e Cunningham (1996), trabalhando com *Ambrosia artemisiifolia*. Na parte aérea das mudas de cedro, quando da aplicação da menor dose de Pb (48 μM), o teor de P apresentou aumento de 7,5% no caule e 2,6% nas folhas, ao passo que a aplicação da maior dose (288 μM Pb) provocou um aumento de 45,2% no teor caulinar e de 15,5% no teor foliar de P, em relação ao tratamento controle.

Para o K, até a dose 182 μM Pb, houve inibição na absorção, com o teor radicular apresentando resposta quadrática positiva. Esta redução no teor de K nas raízes pode, possivelmente, ser explicada pela inibição competitiva entre o K e Pb, um cátion divalente, presente em maiores concentrações (Walker, Miller e Hassett, 1977).

Tabela 1.

Equações de regressão para os teores de macronutrientes na raiz, caule e folhas de mudas de cedro, em resposta a doses crescentes de chumbo.

(Regression equations of macronutrients content in the root, stem and leaves of cedro seedlings, in response to increasing levels of lead)

Nutriente	Parte da planta	Equação de regressão	R ²
P	Raiz	$Y = 1,4 + 0,0135^{**}X - 0,000030^{**}X^2$	0,75
	Caule	$Y = 0,7 + 0,0011^{**}X$	0,73
	Folha	$Y = 1,3 + 0,0007^{**}X$	0,87
K	Raiz	$Y = 20,7 - 0,1022^{**}X + 0,000281^{**}X^2$	0,84
	Caule	$Y = 19,0 + 0,0237^{**}X$	0,81
	Folha	$Y = 25,6$	
S	Raiz	$Y = 2,4$	
	Caule	$Y = 0,6 + 0,0015^{**}X$	0,84
	Folha	$Y = 1,5 - 0,0024^{**}X + 0,000011^{**}X^2$	0,87
Ca	Raiz	$Y = 6,8 - 0,0084^{**}X$	0,85
	Caule	$Y = 9,2$	
	Folha	$Y = 11,7 - 0,0074^{**}X$	0,95
Mg	Raiz	$Y = 4,4 - 0,0256^{**}X + 0,000056^{**}X^2$	0,96
	Caule	$Y = 3,1$	
	Folha	$Y = 2,8$	

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Nas folhas, a aplicação de Pb não proporcionou nenhum efeito significativo, estando de acordo com os resultados obtidos por Soares (1999), quando a concentração de K na parte aérea não foi afetada pelo aumento das doses de Pb.

Entretanto, Huang e Cunningham (1996) verificaram que a presença de Pb reduzia significativamente a concentração de K na parte aérea de *Zea mays* e *Ambrosia artemisiifolia*, após duas semanas de exposição a 20 µM Pb.

O aumento das doses de Pb não provocou efeito significativo sobre o teor de S na raiz das mudas de cedro, ao passo que o teor caulinar de S apresentou resposta linear positiva e o teor foliar de S respondeu de forma quadrática positiva.

Quanto ao cálcio, houve redução linear em seu teor nas raízes e nas folhas das mudas de cedro, enquanto o seu teor caulinar não foi afe-

tado significativamente. Em milho, Huang e Cunningham (1996) também observaram queda no teor de Ca na raiz e na parte aérea de plantas submetidas a 20 µM Pb.

No presente estudo, a aplicação da menor dose de Pb (48 µM) provocou uma redução de 5,9% e 3,0%, no teor radicular e foliar de Ca, respectivamente, ao passo que a aplicação da maior dose de Pb (288 µM) fez com que houvesse uma redução de 35,6% e 18,2% no teor de Ca, na raiz e nas folhas, respectivamente, em relação ao tratamento controle.

De acordo com Marschner (1995), cátions divalentes como Pb^{+2} competem com outros cátions, como o Ca^{+2} . Baccouch, Chaoui e El Ferjani (1998) preconizam que a ocorrência de raízes curtas e grossas, bem como alterações na coloração das raízes pode estar relacionada com a deficiência induzida de Ca pelo Pb.

O teor de Mg no caule e nas folhas de mudas de cedro não foi afetado significativamente pela aplicação de doses crescentes de Pb, comportamento este observado em plantas de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus maculata*, por Soares (1999), ao passo que em plantas de *Zea mays* e *Ambrosia artemisiifolia*, Huang e Cunningham (1996) verificaram redução no teor de Mg na parte aérea das plantas.

Na raiz, no entanto, houve resposta quadrática positiva, quando da aplicação de Pb, ocorrendo uma redução no teor de Mg até a dose 228,6 μM . Redução no teor de magnésio na raiz, provocada por Pb foi observada em *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus maculata* (Soares, 1999).

Esse efeito do Pb sobre o teor de Mg pode ser devido ao efeito de competição de outros íons durante o processo de absorção (Marschner, 1995), muitas vezes caracterizado como antagonismo (Kabata-Pendias e Pendias, 1984).

Teor de micronutrientes

Os teores de micronutrientes apresentaram comportamento diferenciado quando da aplicação de Pb em solução nutritiva (Tabela 2). Houve aumento nos teores de Cu e de Fe e uma redução nos teores de Mn e de Zn, de modo geral. Para o Cu, independente da parte da planta analisada houve aumento linear em seu teor.

Estes resultados concordam em parte com os obtidos por Soares (1999) quando o teor de Cu na parte aérea de mudas de *Eucalyptus urophylla* aumentou com a aplicação de Pb, mas o teor radicular de Cu não sofreu efeito significativo.

Kabata-Pendias e Pendias (1984) preconizam que a presença de metais pesados como Cd e Ni provoca interação com a absorção de Cu, podendo, em algumas espécies, ser antagônica e, em outras, ser sinérgica. Provavelmente, no presente caso, a aplicação de Pb provocou esta interação, que foi sinérgica.

Tabela 2.

Equações de regressão para os teores de micronutrientes na raiz, caule e folhas de mudas de cedro, em resposta a doses crescentes de chumbo.

(Regression equations of micronutrients content in the root, stem and leaves of cedro seedlings, in response to increasing levels of lead)

Nutriente	Parte da planta	Equação de regressão	R ²
Cu	Raiz	$Y = 29,2 + 0,1195^{**}X$	0,85
	Caule	$Y = 2,3 + 0,0142^{**}X$	0,93
	Folha	$Y = 3,0 + 0,0070^{**}X$	0,75
Fe	Raiz	$Y = 2311 - 14,44^{**}X + 0,0351^{**}X^2$	0,87
	Caule	$Y = 49 + 0,01259^{**}X$	0,89
	Folha	$Y = 139 + 0,1721^{**}X$	0,88
Mn	Raiz	$Y = 742 - 6,1983^{**}X + 0,014756^{**}X^2$	0,94
	Caule	$Y = 61 - 0,0782^{**}X$	0,89
	Folha	$Y = 52,7$	
Zn	Raiz	$Y = 291 - 1,9527^{**}X + 0,003957^{**}X^2$	0,98
	Caule	$Y = 31,9$	
	Folha	$Y = 36,3$	

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

O Pb, considerado por Kabata-Pendias e Pendias (1984) como sendo um elemento que não interfere na absorção de Fe, no presente caso estimulou-a. No caule e nas folhas houve aumento linear no teor de Fe, podendo este fato ser atribuído ao efeito concentração.

Em eucalipto, Soares (1999) observou que o teor de Fe, na parte aérea, foi pouco influenciado pela aplicação de Pb, ao passo que em milho e *Ambrosia artemisiifolia*, Huang e Cunningham (1996) observaram redução significativa no teor de Fe na parte aérea, com a aplicação de 20 μM Pb.

As mudas de cedro apresentaram resposta quadrática positiva à aplicação de Pb sobre o teor de Mn na raiz, atingindo-se um teor mínimo de 91 mg kg^{-1} , valor este que representa 12,3% do estimado para o tratamento controle (sem aplicação de Pb), indicando haver antagonismo entre Mn e Pb (Kabata-Pendias e Pendias, 1984). O teor de Mn no caule sofreu redução linear, enquanto o teor foliar não foi afetado significativamente.

A aplicação de Pb, em mudas de cedro, fez com que o teor de Zn, na raiz, tivesse resposta quadrática positiva, indicando haver antagonismo até a dose 246,7 μM Pb. De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (1984), metais pesados como o Pb podem ser antagonísticos ao Zn, embora Soares (1999) não tenha observado efeito significativo da aplicação de Pb sobre o teor radicular de Zn em espécies de eucalipto.

No caule e nas folhas não houve efeito significativo da aplicação de Pb sobre o teor de Zn. De modo geral, a aplicação de Pb não afetou os teores de Mn e de Zn no caule e nas folhas, mas exerceu forte efeito sobre os teores destes nutrientes na raiz, mostrando seu efeito antagonístico.

Conteúdo de macronutrientes

O conteúdo de macronutrientes nas diferentes partes das mudas de cedro foi influenciado

pelos doses crescentes de chumbo em solução nutritiva (Tabela 3).

O conteúdo radicular e total de P sofreu redução linear com a aplicação de Pb, ao passo que para o caule, a folha e a parte aérea a resposta foi quadrática positiva, alcançando um mínimo quando a concentração de Pb, na solução nutritiva, foi de 227 μM .

Esta redução no conteúdo de P na parte aérea, independente de caule ou folha, pode estar relacionada a uma baixa translocação de P, quando na presença de Pb (Paiva, 2000), possivelmente provocada pela precipitação de fósforo na raiz, na forma de fosfato de chumbo, conforme preconizado por Kabata-Pendias e Pendias (1984).

O K, S, Ca e Mg tiveram seus conteúdos afetados de forma quadrática positiva, exceto o conteúdo radicular de S, cuja resposta foi linear negativa.

O conteúdo de K na matéria seca de raiz, caule, folha, parte aérea e total foi reduzido até a aplicação de 233 μM , 240 μM , 228 μM , 230 μM e 230 μM , respectivamente, sendo que a partir destas concentrações passou a haver elevação no conteúdo de potássio, nas diferentes partes das mudas de cedro.

Também em mudas de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus maculata* ocorreu redução no conteúdo de K com a aplicação de doses crescentes de Pb, em solução nutritiva (Soares, 1999).

O cálcio e o magnésio, em mudas de cedro, tiveram comportamento semelhante em seu conteúdo na matéria seca de todas as partes das plantas, apresentando resposta quadrática positiva.

As concentrações de Pb, na solução nutritiva, que promoveram um menor conteúdo de Ca estão próximas a 232 μM , ao passo que para o Mg, as concentrações foram de 250 μM . De modo geral, metais pesados, como o Pb, reduzem o conteúdo de Ca e Mg em diferentes espécies de plantas (Vásquez, Poschenrieder e Barceló, 1989; Huang e Cunningham, 1996;

Soares, 1999), mostrando haver antagonismo entre estes elementos (Kabata-Pendias e Pendias, 1984; Vásquez, Poschenrieder e Barceló, 1989).

Conteúdo de micronutrientes

Assim como aconteceu para os macronutrientes, o conteúdo de micronutrientes, nas diferentes partes das mudas de cedro, também foi afetado pelas doses crescentes de Pb, em solução nutritiva (Tabela 4).

O conteúdo de cobre reduziu de forma linear em todas as partes das mudas de cedro, sendo que em mudas de eucalipto, Soares (1999) verificou que houve redução no conteúdo deste elemento quando da aplicação de doses crescentes de Pb, em solução nutritiva. No presente caso, esta redução pode ter sido motivada pela queda na produção de matéria seca (Paiva, 2000).

Tabela 3.

Equações de regressão para o conteúdo de macronutrientes em diferentes partes de mudas de cedro submetidas a doses crescentes de chumbo.
(Regression equations of macronutrients accumulation in the different parts of the cedro seedlings, in response to increasing levels of lead)

Nutriente	Parte da planta	Equação de regressão	R ²
P	Raiz	$Y = 4,2 - 0,0094^{**}X$	0,71
	Caule	$Y = 2,6 - 0,0177^{**}X + 0,000039^{**}X^2$	0,98
	Folha	$Y = 11,4 - 0,0817^{**}X + 0,000180^{**}X^2$	0,97
	P. aérea	$Y = 14,1 - 0,0995^{**}X + 0,000219^{**}X^2$	0,97
	Total	$Y = 16,1 - 0,0448^{**}X$	0,86
K	Raiz	$Y = 55,9 - 0,4328^{**}X + 0,000928^{**}X^2$	0,94
	Caule	$Y = 68,0 - 0,4146^{**}X + 0,000863^{**}X^2$	0,98
	Folha	$Y = 228,2 - 1,6552^{**}X + 0,003634^{**}X^2$	0,91
	P. aérea	$Y = 296,3 - 2,0698^{**}X + 0,004498^{**}X^2$	0,93
	Total	$Y = 352,2 - 2,5027^{**}X + 0,005426^{**}X^2$	0,93
S	Raiz	$Y = 6,3 - 0,0196^{**}X$	0,80
	Caule	$Y = 2,5 - 0,0165^{**}X + 0,000037^{**}X^2$	0,83
	Folha	$Y = 13,2 - 0,0987^{**}X + 0,000225^{**}X^2$	0,97
	P. aérea	$Y = 15,6 - 0,1153^{**}X + 0,000263^{**}X^2$	0,97
	Total	$Y = 22,5 - 0,1474^{**}X + 0,000306^{**}X^2$	0,96
Ca	Raiz	$Y = 21,4 - 0,1555^{**}X + 0,000314^{**}X^2$	0,94
	Caule	$Y = 34,7 - 0,2525^{**}X + 0,000547^{**}X^2$	0,98
	Folha	$Y = 101,0 - 0,7424^{**}X + 0,001598^{**}X^2$	0,98
	P. aérea	$Y = 135,8 - 0,9950^{**}X + 0,002146^{**}X^2$	0,98
	Total	$Y = 157,2 - 1,1505^{**}X + 0,002460^{**}X^2$	0,97
Mg	Raiz	$Y = 12,3 - 0,1091^{**}X + 0,000245^{**}X^2$	0,97
	Caule	$Y = 10,4 - 0,0611^{**}X + 0,000114^{**}X^2$	0,94
	Folha	$Y = 24,1 - 0,1574^{**}X + 0,000319^{**}X^2$	0,97
	P. aérea	$Y = 34,4 - 0,2185^{**}X + 0,000433^{**}X^2$	0,96
	Total	$Y = 46,7 - 0,3277^{**}X + 0,000678^{**}X^2$	0,97

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 4.

Equações de regressão para o conteúdo de micronutrientes em diferentes partes das mudas de cedro submetidas a doses crescentes de chumbo.

(Regression equations of micronutrients accumulation in the different parts of cedro seedlings, in response to increasing levels of lead)

Nutriente	Parte da planta	Equação de regressão	R ²
Fe	Raiz	$Y = 2311 - 14,44^{**}X + 0,0351^{**}X^2$	0,86
	Caule	$Y = 200 - 1,3545^{**}X + 0,003112^{**}X^2$	0,93
	Folha	$Y = 1185 - 7,14^{**}X + 0,014626^{**}X^2$	0,96
	P. aérea	$Y = 1386 - 8,49^{**}X + 0,017739^{**}X^2$	0,97
	Total	$Y = 3696 - 22,93^{**}X + 0,0528^{**}X^2$	0,93
Cu	Raiz	$Y = 78,8 - 0,1690^{**}X$	0,80
	Caule	$Y = 7,8 - 0,0131^{**}X$	0,78
	Folha	$Y = 22,2 - 0,533^{**}X$	0,79
	P. aérea	$Y = 30,0 - 0,0665^{**}X$	0,94
	Total	$Y = 109,9 - 0,2355^{**}X$	0,85
Mn	Raiz	$Y = 2070 - 21,30^{**}X + 0,0511^{**}X^2$	0,95
	Caule	$Y = 217 - 1,6175^{**}X + 0,003390^{**}X^2$	0,99
	Folha	$Y = 481 - 3,3987^{**}X + 0,007159^{**}X^2$	0,97
	P. aérea	$Y = 698 - 5,0162^{**}X + 0,010549^{**}X^2$	0,98
	Total	$Y = 2769 - 26,31^{**}X + 0,0617^{**}X^2$	0,96
Zn	Raiz	$Y = 805 - 7,289^{**}X + 0,016147^{**}X^2$	0,96
	Caule	$Y = 111,6 - 0,664^{**}X + 0,00121^{**}X^2$	0,98
	Folha	$Y = 286 - 1,8233^{**}X + 0,00375^{**}X^2$	0,95
	P. aérea	$Y = 398 - 2,4872^{**}X + 0,004961^{**}X^2$	0,96
	Total	$Y = 1204 - 9,7763^{**}X + 0,021108^{**}X^2$	0,96

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Nas diferentes partes das mudas de cedro, o conteúdo de Fe, Mn e Zn apresentaram resposta quadrática positiva, mostrando que houve uma redução neste conteúdo até determinada concentração de Pb na solução nutritiva, a partir desta concentração este conteúdo passou a ser crescente.

O conteúdo de Fe, Mn e Zn na matéria seca total alcançou um ponto de mínimo quando a concentração de Pb, na solução nutritiva, era de 217 µM, 213 µM e 232 µM, respectivamente.

Resultados semelhantes, em termos de redução de conteúdo destes nutrientes pela aplicação de Pb, foram observados por Brune, Urbach e Dietz (1994), trabalhando com ceva-

da, e por Soares (1999), trabalhando com *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus maculata*.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados pelas mudas de cedro permitem concluir que:

- ✓ a aplicação de Pb provoca aumento no teor de P, principalmente na raiz, ao passo que os teores de K, S, Ca e Mg, de modo geral, reduzem;
- ✓ há um aumento nos teores de Cu e de Fe e uma redução nos teores de Mn e de Zn, quando da aplicação de Pb. Em termos de Mn e de Zn, o principal efeito do Pb é sobre o teor radicular;

- ✓ há uma redução no conteúdo de macro e de micronutrientes com a aplicação de doses crescentes de Pb, em solução nutritiva;
- ✓ o cedro é uma espécie sensível a ambientes contaminados por Pb, dependendo da concentração deste metal, a espécie apresenta baixa tolerância;
- ✓ para a recomposição de áreas que apresentam contaminação por Pb, há necessidade de avaliar os níveis de contaminação antes de recomendar a utilização desta espécie.

AUTORES

HAROLDO NOGUEIRA DE PAIVA é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - hnpaiva@mail.ufv.br

JANICE GUEDES DE CARVALHO é Professora Titular do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 37 - Lavras, MG - 37200-000 - janicegc@ufla.br

JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA é Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 37 - Lavras, MG - 37200-000 - siqueira@ufla.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUBERT, H.; PINTA, M. **Trace elements in soils**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, 1977. 395p.
- BACCOUCH, S.; CHAOU, A.; EL FERJANI, E. Nickel toxicity: effects on growth and metabolism of maize. **Journal of plant nutrition**, v.21, n.3, p.577-588, 1998.
- BRUNE, A.; URBACH, W.; DIETZ, K.J. Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance. **Plant, cell and environment**, v.17, n.2, p.153-162, 1994.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal of agriculture and food chemistry**, v.23, n.3, p.458-460, 1975.
- ELTROP, L.; BROWN, G.; JOACHIM, O.; BRINKMANN, K. Lead tolerance of *Betula* and *Salix* in the mining area of Mechernich/Germany. **Plant and soil**, v.131, n.2, p.275-285, 1991.
- HUANG, J.W.; CUNNINGHAM, S.D. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. **The new phytologist**, v.134, n.1, p.75-84, 1996.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.
- LAGERWERFF, J.V. Lead, mercury, and cadmium as environmental contaminants. In: MORVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., ed. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.593-636
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- PAIVA, H.N. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.)**. Lavras, 2000. 283p. (Tese - Doutorado). Universidade Federal de Lavras
- SOARES, C.R.F.S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. Lavras: 1999. 132p. (Tese - Mestrado). Universidade Federal de Lavras
- VÁSQUEZ, M.D.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Pulvinus structure and leaf abscission in cadmium-treated bean plants (*Phaseolus vulgaris*). **Canadian journal of botany**, v.67, n.9, p.2756-2764, 1989.
- WALKER, W.M.; MILLER, J.E.; HASSETT, J.J. Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium, and phosphorus concentration in young corn plants. **Soil science**, v.124, n.3, p.145-151, 1977.
- XIAN, X. Effect of chemical forms of cadmium, zinc and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. **Plant and soil**, v.115, n.2, p.257-264, 1989.