

ABSORÇÃO DE METAIS PESADOS PELO AZEVÉM (*LOLIUM MULTIFLORUM*) EM DOIS SOLOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL¹

LEDA CABRAL AMARAL POMBO²

RESUMO - Com o objetivo de avaliar a absorção de metais pesados para as plantas, foi instalado um experimento em vasos, ao ar livre, com dois solos podzólicos vermelho-amarelos do Rio Grande do Sul, nos quais foi plantado o azevém. Os metais pesados Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, em dois níveis, foram adicionados aos solos no lodo procedente do Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Líquidos do Pólo Petroquímico do Sul, aplicado em doses de 0, 5,0 e 8,5 g kg⁻¹. Os metais pesados distribuíram-se no lodo em formas de diferentes disponibilidades. A ausência de sintomas de toxidez e os elevados índices de tolerância mostraram que os metais pesados, nas condições do estudo, não prejudicaram a cultura do azevém. Os agentes quelatantes EDTA e DTPA não foram eficientes para avaliar o Pb e o Ni disponíveis, e o CaCl₂ foi o extrator mais eficiente para avaliar o Cd disponível para as plantas.

Termos para indexação: solo podzólico, extratores.

HEAVY METALS UPTAKE BY RYE GRASS (*LOLIUM MULTIFLORUM*) IN TWO SOILS OF THE RIO GRANDE DO SUL STATE

ABSTRACT - In order to evaluate the uptake of heavy metals by plants, an experiment in pots, in open air, was conducted with two red-yellow podzolic soils of the Rio Grande do Sul state, Brazil, where rye grass was grown. The heavy metals Ni, Pb, Cd, Zn and Cu, in two levels, were added to the soils, in the residue derived from the SITEL, the integrated wastewater treatment of Pólo Petroquímico do Sul (South Petrochemical Complex) applied in doses of 0, 5.0 and 8.5 g kg⁻¹. The heavy metals in the residue were distributed in forms of different availabilities. The lack of toxicity symptoms and the high tolerance indices showed that the heavy metals, in the study conditions, did not damage the rye grass growth. The chelating agents EDTA and DTPA were not efficient to evaluate the available Pb and Ni, and the CaCl₂ was the more efficient extraction reagent to evaluate the available Cd to the plants.

Index terms: podzolic soil, extractants.

INTRODUÇÃO

Pesquisadores tais como Turner & Rust (1971), Teixeira (1981), Martins (1984), Pombo et al. (1986), Dang et al. (1990) e outros têm estudado a biodisponibilidade dos metais pesados adicionados aos solos na forma de sais ou em lodos. Isso porque, metais pesados, se adicionados aos solos, em condições e

quantidades inadequadas, podem ser absorvidos pelas plantas, prejudicando o seu desenvolvimento ou causando danos aos homens e animais que delas se utilizam.

Até 1980, acreditava-se que a biodisponibilidade dos metais pesados aplicados ao solo fosse controlada por processos tais como adsorção, quelação e precipitação, os quais dependiam de propriedades dos solos, tais como pH e CTC (Page et al., 1987). Entretanto, como evidenciado nos trabalhos de Pombo et al. (1986) e Pombo (1992) trabalhando, respectivamente, com lodos de galvanoplastia e de curtume, os metais pesados, se adicionados aos solos na forma de sais, como cromatos, nitratos, cloretos e sulfatos, são mais facilmente absorvidos pelas plantas do que quantidades equivalentes dos mesmos

¹ Aceito para publicação em 24 de agosto de 1995.

Extraído da Dissertação de Doutorado na Fac. de Agro., UFRGS, Porto Alegre, RS.

² Eng^a. Ind. Química, Dr^a, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), Rua Gonçalves Dias, 570, CEP 90130-060 Porto Alegre, RS.

adicionados aos solos em lodos industriais ou domésticos, o que evidencia a influência das características individuais dos lodos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a absorção dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu pelo azevém (*Lolium multiflorum*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos, ao ar livre, no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, em 1990. Foram utilizadas amostras superficiais (0-20 cm) de dois solos podzólicos vermelho-amarelos, PV₁ e PV₂, Paleudults, do Estado do Rio Grande do Sul. Nestes solos, matéria orgânica, teor em argila, pH em água e teores em P, K, Al, Ca e Mg foram determinados utilizando métodos descritos por Tedesco et al. (1985). Resultados destas determinações constam da Tabela 1.

Neste trabalho, foi utilizado o lodo proveniente do Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Líquidos do Pólo Petroquímico do Sul, situado em Triunfo, RS, previamente adicionado com os metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, respectivamente nas doses de 157, 567, 76, 1800 e 595 mg kg⁻¹ no nível 1 e 262, 1.391, 143, 2.800 e 1.097 mg kg⁻¹ no nível 2.

No lodo petroquímico tratado com os metais pesados Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, determinou-se o conteúdo em sólidos e pH; de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), por digestão com H₂O₂ e H₂SO₄, e de metais pesados (Ni, Cr, Pb, Cd, Zn e Cu), por digestão nítrico-perclórica, segundo métodos descritos em Tedesco et al. (1985). Para identificar as formas em que os metais pesados Ni, Cr, Pb e Cd se encontram nos resíduos, efetuou-se sua extração seqüencial, segundo Chang et al. (1984), com KNO₃ 0,5 M, água deionizada, NaOH 0,5 M, Na₂EDTA 0,05 M e HNO₃ 4 M. Nos extratos, os metais Ni, Cr, Pb, Cd, Zn e Cu foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Foram utilizados vasos com capacidade de 40 litros, munidos de orifício inferior para saída do líquido percolado. Na parte inferior dos vasos foi colocada uma camada de brita, e sobre esta, uma tela com abertura de 1 mm. Inicialmente,

colocou-se uma camada de 20 kg de solo, sem tratamento, que ficou ao ar livre, por 56 dias, para adquirir compactação semelhante à do campo. Após, colocou-se a camada de 20 kg de solo tratado, separada da primeira por meio de uma tela também com abertura de 1 mm. O pH dos solos PV₁ e PV₂ foi previamente elevado a 6,5 e 7,5 por meio de uma mistura Ca(OH)₂:MgO (3:1) com valor de neutralização de 117,5 por cento, em quantidades estabelecidas com base em curvas de neutralização efetuadas no laboratório. O lodo petroquímico, tratado com os dois níveis dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, foi adicionado aos solos PV₁ e PV₂, em doses de 0, 5,0 e 8,5 g lodo kg⁻¹. Cada tratamento foi feito com duas repetições. Junto à aplicação do lodo aos solos, adicionou-se a adubação básica: 21,8 mg P kg⁻¹ e 41,5 mg K kg⁻¹ para o PV₁; 28,4 mg P kg⁻¹ e 53,9 mg K kg⁻¹ para o PV₂; as fontes de P e K foram, respectivamente, superfosfato triplo e KCl. Plantou-se o azevém anual (*Lolium multiflorum*). A adubação nitrogenada (30 mg N kg⁻¹) foi feita em cobertura, com uréia em solução, em três aplicações: no plantio, 4 e 8 semanas após o plantio. O experimento foi conduzido por 88 dias, efetuando-se três cortes do azevém. Nos tecidos secos determinou-se matéria seca e índices de tolerância segundo Camerlynck & Velghe (1983), assim como determinou-se Pb, Cd, Zn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica após moagem e digestão nítrico-perclórica, segundo método descrito em Tedesco et al. (1985).

Em amostras do solo PV₁ tratado com lodo petroquímico, coletadas após a colheita do azevém, foi efetuada a extração seqüencial dos metais pesados Ni, Pb e Cd com KNO₃ 0,5 M, água deionizada, NaOH 0,5 M, Na₂EDTA 0,05 M e HNO₃ 4 M, segundo Chang et al. (1984). Os metais pesados Ni, Pb e Cd foram extraídos de amostras dos solos PV₁ e PV₂ tratados com lodo petroquímico enriquecido, com os extratores EDTA 0,04 M pH 4,5 e EDTA 0,05 M pH 6,0 (Haynes & Swift, 1983) e DTPA 0,005 M pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978). Também, nestas amostras, o Cd foi extraído com CaCl₂ 0,05 M (Sauerbeck & Styperek, 1984). Nos diferentes extratos, os metais foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Foram calculadas a média e a amplitude

TABELA 1. Características físicas e químicas dos solos PV₁ e PV₂.

Solo	Horizonte	M.O.	Argila	pH (H ₂ O)	P	K	Al	Ca	Mg
		----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----		----- mmol _c kg ⁻¹ -----		
PV ₁	A ₁	19	280	4,6	3	28	14	25	7
PV ₂	A ₁	8	200	4,1	2	18	17	1	1

de das determinações e os coeficientes de correlação entre as quantidades desses metais, nos diversos extratos e no tecido de azevém.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo petroquímico, utilizado neste trabalho, apresenta elevados teores de N e P, assim como razoáveis teores de K, Ca e Mg; os metais pesados foram adicionados em pequenas quantidades (Tabela 2). Como evidenciado nas Figs. 1 e 2, respectivamente, nos níveis 1 e 2 de enriquecimento, 18% e 17% do Ni adicionado apresenta-se na forma extraível com KNO_3 0,5 M + H_2O , assim como 37% e 40% na forma extraível com NaOH 0,5 M, ambas disponíveis; em ambos os níveis, 82 % de Cr apresenta-se na forma extraível com HNO_3 4 M, de baixa disponibilidade. O Pb apresenta-se em maiores quantidades, 567 e 1.391 ppm, nos dois níveis de enriquecimento, dos quais, 63% e 60% na forma extraível com Na_2EDTA . O Cd, nos dois níveis de enriquecimento, apresenta-se predominantemente na forma extraível com NaOH (35 e 26 %), que é disponível. Neste lodo, os metais pesados Ni, Pb e Cd podem tornar-se disponíveis para as plantas;

TABELA 2. Caracterização química do lodo petroquímico (base seca).

Determinação	Lodo petroquímico ¹	
	Nível 1	Nível 2
Sólidos (%)	94,90	95,20
pH	7,40	7,40
N (g kg^{-1})	23,4	24,3
P (g kg^{-1})	15,4	17,5
K (g kg^{-1})	4,4	4,4
Ca (g kg^{-1})	1,2	1,3
Mg (g kg^{-1})	1,5	1,6
Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$)	157	262
Cr ($\mu\text{g g}^{-1}$)	143	124
Pb ($\mu\text{g g}^{-1}$)	567	1.391
Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$)	76	143
Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	595	1.097
Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	1.800	2.800

¹ Os níveis 1 e 2 referem-se à adição dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, respectivamente em doses de 157, 567, 76, 1.800 e 595 mg kg^{-1} no nível 1 e 262, 1.391, 143, 2.800 e 1.097 mg kg^{-1} no nível 2.

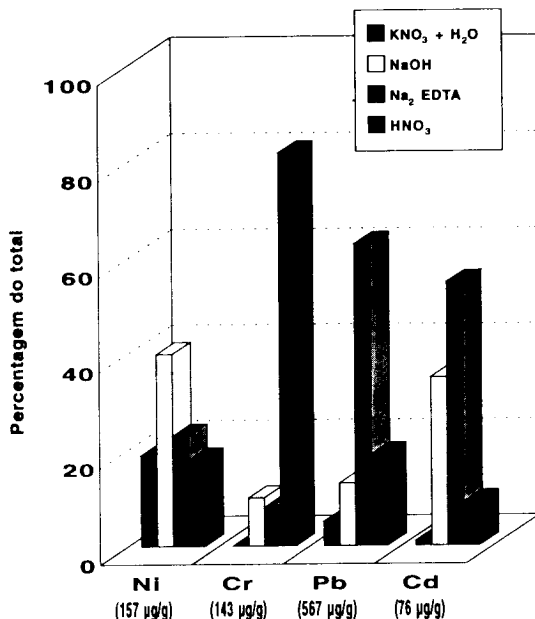


FIG. 1. Distribuição dos metais Ni, Cr, Pb e Cd nas diversas frações do lodo petroquímico: nível 1 de enriquecimento.

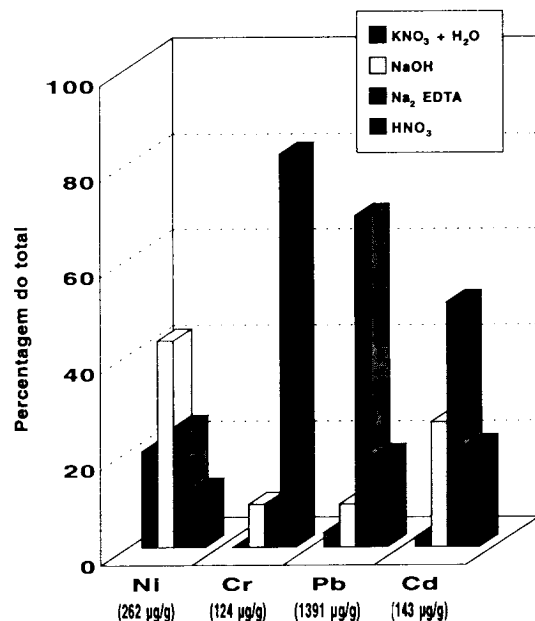


FIG. 2. Distribuição dos metais, Ni, Cr, Pb, e Cd nas diversas frações do lodo petroquímico: nível 2 de enriquecimento.

contudo, podem não afetar o seu desenvolvimento se as doses aplicadas de lodo não forem excessivas.

A adição do lodo petroquímico enriquecido com metais pesados aos solos PV₁ e PV₂, nos dois valores de pH em estudo, não prejudicou o desenvolvimento do azevém, como evidenciado pelos dados de matéria seca (Tabela 3) e índices de tolerância (Tabela 4), assim como pela ausência de sintomas de toxidez. Elevados índices de tolerância do azevém, a maioria dos quais superiores a 1 (Tabela 4), indicam que a adição do lodo petroquímico, nas condições do estudo, foi favorável à cultura do azevém. Isso se deu provavelmente devido aos elevados teores em elementos nutritivos do lodo (Tabela 2), complementados pela adubação básica; aos baixos teores de metais pesados, adicionados aos solos nos lodos, e aos valores de pH em estudo. Os metais pesados, em seus dois níveis, foram adicionados aos solos no lodo em quantidades bem inferiores aos limites máximos estabelecidos para elementos potencialmente tóxicos (National Water Council, 1981), os quais, para Ni, Pb, Cd, Zn e Cu são, respectivamente 35, 500, 2,5, 280 e 140 mg kg⁻¹. Além disso, como mostram as Figs. 1 e 2, grande parte dos metais pesados adicionados encontram-se, no lodo, em formas não disponíveis para as plantas. Com tudo isso, as quantidades dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu absorvidas pelo azevém foram pequenas (Tabela 5), e não se evidenciaram diferenças significativas entre os tratamentos. Os teores desses metais no tecido de azevém, variáveis, respectivamente de 0,29 a 0,83 µg g⁻¹ para o Ni; de 1,70 a 4,08 µg g⁻¹ para o Pb; de 37,06 a 100,96 µg g⁻¹ para o Zn e de 1,74 a 3,19 µg g⁻¹ para o Cu (Tabela 5), encontram-se nas faixas normais de concentrações

desses elementos no azevém. Para Dhaese (1983), podem ser encontradas, respectivamente, faixas de 0 a 8 µg g⁻¹ para o Ni; de 2 a 14 µg g⁻¹ para o Pb; de 25 a 150 µg g⁻¹ para o Zn e de 6 a 15 µg g⁻¹ para o Cu. Apenas o Cd, em nosso experimento, foi encontrado em quantidades variáveis de 0,53 a 3,72 µg g⁻¹, superando os conteúdos normais relativos ao azevém, que, segundo Dhaese (1983), variam de 0 a 0,5 µg g⁻¹. Porém, os valores encontrados não alcançaram o conteúdo tóxico, que para esta cultura é > 100 mg kg⁻¹, também segundo Dhaese (1983).

O pH foi um dos fatores externos que contribuíram para a baixa absorção dos metais em estudo, pelo azevém (Tabela 5); de maneira geral, os valores de Ni, Pb, Cd, Zn e Cu no tecido de azevém cultivado nos solos PV₁ e PV₂, ao pH 7,5, foram inferiores aos valores destes metais no azevém cultivado nestes solos ao pH 6,5. Isso se dá, pelo aumento da adsorção dos metais pesados aos solos, devido às cargas dependentes de pH dos argilo-minerais, óxidos hidratados e matéria orgânica, pelo acréscimo nas constantes de estabilidade metal-matéria orgânica do solo, determinado pelo aumento da ionização de grupos funcionais especialmente COOH e pelo aumento da adsorção específica dos metais pesados sobre as superfícies dos óxidos hidratados (Soon, 1981).

A análise seqüencial de Ni, Pb e Cd efetuada em amostras do solo PV₁ tratado com doses de lodo petroquímico enriquecido (Tabela 6), indica que, no período do experimento, as formas de metais pesados no lodo não foram alteradas, e houve apenas um efeito de diluição. O Ni, em maior quantidade na

TABELA 3. Matéria seca (g/vaso) de azevém (*Lolium multiflorum*) cultivado nos solos PV₁ e PV₂ tratados com lodo petroquímico (média de 3 cortes)¹.

Lodo (g kg ⁻¹)	PV ₁				PV ₂			
	pH 6,5		pH 7,5		pH 6,5		pH 7,5	
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
0	21,4	21,4	24,7	24,7	15,0	15,0	17,6	17,6
5,0	34,4	29,4	27,5	34,1	19,5	19,0	16,0	20,9
8,5	29,9	27,1	32,3	30,5	17,9	23,0	17,2	19,2

¹ N₁ e N₂ referem-se à adição dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, respectivamente, em doses de 157, 567, 76, 1.800 e 595 mg kg⁻¹ no nível 1 (N₁), e 262, 1.391, 143, 2.800 e 1.097 mg kg⁻¹ no nível 2 (N₂).

TABELA 4. Índices de tolerância do azevém (*Lolium multiflorum*) cultivado nos solos PV₁ e PV₂ tratados com lodo petroquímico¹.

Lodo (g kg ⁻¹)	PV ₁				PV ₂			
	pH 6,5		pH 7,5		pH 6,5		pH 7,5	
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
5,0	1,61	1,37	1,11	1,38	1,30	1,27	0,98	1,19
8,5	1,40	1,27	1,31	1,23	1,19	1,53	0,98	1,09

¹ N₁ e N₂ referem-se à adição dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, respectivamente, em doses de 157, 567, 76, 1.800 e 595 mg kg⁻¹ no nível 1 (N₁), e 262, 1.391, 143, 2.800 e 1.097 mg kg⁻¹ no nível 2 (N₂).

TABELA 5. Teores de Ni, Pb, Cd, Zn e Cu (mg kg⁻¹) em tecido de azevém (*Lolium multiflorum*) cultivado nos solos PV₁ e PV₂ tratados com lodo petroquímico¹.

Lodo (g kg ⁻¹)	PV ₁				PV ₂			
	pH 6,5		pH 7,5		pH 6,5		pH 7,5	
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂
	Níquel							
0	0,76	0,76	0,58	0,58	0,45	0,45	0,31	0,31
5,0	0,68	0,68	0,64	0,47	0,78	0,49	0,49	0,83
8,5	0,82	0,45	0,45	0,60	0,45	0,66	0,29	0,58
	Chumbo							
0	2,94	2,94	1,70	1,70	4,08	-	2,61	2,61
5,0	3,51	2,60	2,49	3,74	2,49	2,71	-	3,17
8,5	2,49	2,72	2,83	2,04	3,63	-	2,72	3,96
	Cádmio							
0	0,58	0,58	0,47	0,47	0,64	0,64	0,53	0,53
5,0	2,65	2,92	1,57	1,84	2,26	2,75	1,29	1,48
8,5	2,16	3,25	1,94	3,72	1,60	2,65	1,24	1,52
	Zinco							
0	46,64	46,64	39,67	39,67	41,74	41,74	37,06	37,06
5,0	75,21	77,27	62,87	71,99	74,13	90,37	58,97	67,01
8,5	68,77	90,14	70,15	79,95	67,08	100,96	63,49	69,00
	Cobre							
0	2,98	2,98	2,18	2,18	1,97	1,97	2,05	2,05
5,0	2,65	1,96	1,74	2,10	2,66	1,75	2,73	3,19
8,5	1,92	2,03	2,08	2,00	3,27	2,02	2,76	1,95

¹ N₁ e N₂ referem-se à adição dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, respectivamente, em doses de 157, 567, 76, 1.800 e 595 mg kg⁻¹ no nível 1 (N₁) e 262, 1.391, 143, 2.800 e 1.097 mg kg⁻¹ no nível 2 (N₂).

forma extraível com NaOH, quando adicionado ao solo através do lodo, foi detectado nesta forma em quantidades crescentes com as quantidades aplicadas de lodo. Apenas o Pb, em maior quantidade nesse lodo, foi detectado na forma extraível com KNO₃ + H₂O, disponível. Os valores da extração seqüencial de Cd, no solo PV₁, esse também em pequena quantidade no lodo e predominantemente nas formas

extraíveis com Na₂ EDTA, com NaOH e com HNO₃ 4 M, foram proporcionais às quantidades aplicadas no solo e aos valores obtidos na extração seqüencial do lodo. Não foram encontradas correlações entre as quantidades de Ni, Pb e Cd extraídas pelos diversos extratores (Chang et al., 1984) e a quantidade dos mesmos no tecido de azevém. Isso, devido à falta de especificidade dos extratores, como evidenciado por Noble & Hughes (1991).

TABELA 6. Quantidades de Ni, Pb e Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$) extraídas sequencialmente do solo PV₁ tratado com doses de lodo petroquímico.

Lodo (g kg ⁻¹)	N ¹	pH	Extrator											
			KNO ₃ + H ₂ O			NaOH			EDTA			HNO ₃		
			Ni	Pb	Cd	Ni	Pb	Cd	Ni	Pb	Cd	Ni	Pb	Cd
0	N ₁	6,5	0	3,6	0	0	0,1	0	0	6,5	0	4,5	7,7	0,3
5,0	N ₁	6,5	0	5,1	0	0	0	0,1	0	8,3	0,3	4,5	7,6	0,3
8,5	N ₁	6,5	0	5,7	0	0,3	0	0,2	0	10,6	0,5	4,3	7,4	0,3
0	N ₁	7,5	0	4,2	0	0	0,1	0	0	6,8	0	4,7	7,3	0,3
5,0	N ₁	7,5	0	3,0	0	0,3	0	0,1	0	9,1	0,3	3,8	7,5	0,3
8,5	N ₁	7,5	0	3,6	0	0,3	0,1	0	0	7,9	0,2	4,2	7,3	0,3
0	N ₂	6,5	0	3,6	0	0	0,1	0	0	6,5	0	4,5	7,7	0,3
5,0	N ₂	6,5	0	5,7	0	0,6	0,1	0,2	0	10,2	0,4	4,6	8,1	0,3
8,5	N ₂	6,5	0	4,2	0	0,6	0,1	0,2	0	12,3	0,5	4,6	8,1	0,3
0	N ₂	7,5	0	4,2	0	0	0,1	0	0	6,8	0	4,7	7,3	0,3
5,0	N ₂	7,5	0	3,9	0	0,6	0,1	0,3	0	12,7	0,5	4,3	9,1	0,3
8,5	N ₂	7,5	0	3,9	0	0,8	0,1	0,2	0	11,4	0,6	4,0	7,6	0,3

¹ N₁ e N₂ referem-se à adição dos metais Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, respectivamente, em doses de 157, 567, 76, 1.800 e 595 mg kg⁻¹ no nível 1 (N₁), e 262, 1.391, 143, 2.800 e 1.097 mg kg⁻¹ no nível 2 (N₂).

Como o Pb foi adicionado ao lodo em quantidades maiores do que as quantidades adicionadas de Ni e Cd, as quantidades de Pb extraídas dos solos pelos extratores EDTA 0,04 M pH 4,5; EDTA 0,05 M pH 6,5 e DTPA 0,005 M pH 7,3 (Tabela 7),

TABELA 7. Média (M) e Amplitude (A) das determinações de Ni, Pb e Cd com EDTA 0,04 M pH 4,5; EDTA 0,05 M pH 6,1; DTPA 0,005 M pH 7,3 e CaCl₂ 0,05 M dos solos PV₁ e PV₂ tratados com lodo petroquímico enriquecido, assim como coeficientes de correlação (r) entre os teores de Ni, Pb e Cd extraídos dos solos e os teores dos mesmos nas plantas de azevém.

Extração	M	A	r
Ni EDTA 0,04M pH 4,5	0,50	0,00 - 0,84	-0,0364 NS
Ni EDTA 0,05M pH 6,1	0,40	0,15 - 0,60	-0,099 NS
Ni DTPA 0,005M pH 7,3	-	-	-
Pb EDTA 0,04M pH 4,5	7,78	2,10 - 15,74	0,1776 NS
Pb EDTA 0,05M pH 6,1	6,40	1,89 - 12,84	0,1086 NS
Pb DTPA 0,005M pH 7,3	2,82	0,89 - 13,01	0,2513 NS
Cd EDTA 0,04M pH 4,5	0,42	0,00 - 1,14	0,4536*
Cd EDTA 0,05M pH 6,1	0,50	0,03 - 1,30	0,4090*
Cd DTPA 0,005M pH 7,3	0,38	0,00 - 1,18	0,6146*
Cd CaCl ₂ 0,05M	0,32	0,00 - 1,57	0,7726*

NS = não-significativo; * significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t=r/s, em que s_e é o erro padrão do coeficiente de correlação.

decrecentes com a elevação do pH dos extratos, foram maiores do que as quantidades de Ni e Cd extraídas pelos mesmos extratores. Porém, pela relação metal planta/metal extraível, proporcionalmente Ni e Cd, especialmente Cd, foram absorvidos pela planta em quantidades mais elevadas. Dhaese (1983) evidencia que os teores de Ni no azevém aumentam muito mais do que os de Pb para o mesmo nível no solo. Isso se dá porque o Pb é forte formador de complexos estáveis, o que diminui sua disponibilidade (Sposito, 1989). O Cd e o Ni formam complexos menos estáveis, com maior mobilidade como evidenciado por Holtzclaw et al. (1978), Porteous et al. (1984) e Kiekens & Cottenie (1984). Os extratores EDTA 0,04 M pH 4,5; EDTA 0,05 M pH 6,1 e DTPA 0,005 M pH 7,3 foram ineficientes para avaliar a disponibilidade de Ni e Pb para as plantas, como mostram os baixos coeficientes de correlação entre as quantidades desses elementos extraídas e contidas no azevém. Os agentes quelatantes EDTA 0,04 M pH 4,5; EDTA 0,05 M pH 6,1 e DTPA 0,005 M pH 7,3 foram mais eficientes para avaliar o Cd disponível do que para avaliar Pb e Ni disponíveis; os coeficientes de correlação obtidos foram, respectivamente, 0,4536*, 0,4090* e 0,6146*, significativos a 1% de probabilidade. Porém, concordando com Hani & Gupta (1984), para os quais sais neutros

devem ser usados para estimar a disponibilidade dos metais pesados para as plantas em solos poluídos, o CaCl_2 0,05 M, com $r=0,7726^*$ (P=1 por cento) apresentou-se como o melhor extrator, adequado para avaliar o Cd disponível em solos tratados com lodo petroquímico enriquecido.

CONCLUSÕES

1. O lodo petroquímico proveniente da Estação de Tratamento do SITEL/CORSAN, usado neste trabalho, apresenta elevados teores de N e P, respectivamente 24 e 16 g kg^{-1} , assim como razoáveis teores de K, Ca e Mg, respectivamente 4,4; 1,2 e 1,5 g kg^{-1} .

2. Os metais pesados adicionados distribuíram-se no lodo em formas de diferentes disponibilidades para as plantas.

3. A adição aos solos PV_1 e PV_2 , dos metais pesados Ni, Pb, Cd, Zn e Cu, no lodo petroquímico não foi prejudicial ao desenvolvimento do azevém (*Lolium multiflorum*), como evidenciado pelos elevados índices de tolerância desta cultura.

4. O azevém (*Lolium multiflorum*) absorveu os metais pesados Ni, Pb, Cd, Zn e Cu em quantidades inferiores aos níveis considerados tóxicos para esta cultura. Exceto para o Cd, os conteúdos dos metais no azevém situam-se nas faixas de normalidade.

5. A incorporação do lodo petroquímico, enriquecido, ao solo PV_1 , no período do experimento, não determinou alterações nas formas dos metais pesados no lodo, os quais foram apenas diluídos no solo.

6. Os quelatantes EDTA e DTPA não foram eficientes para avaliar Pb e Ni disponíveis para o azevém.

7. CaCl_2 0,05 M foi o melhor extrator para avaliar o Cd disponível para as plantas.

REFERÊNCIAS

- CAMERLYNCK, R.; VELGHE, G. Criteria for the influence of trace elements on plants. In: COTTENIE, A.; VERLOO, M.; KIEKENS, L.; CAMERLYNCK, R.; VELGHE, G.; DHAESE, A. **Essential and non-essential trace elements in the system soil-water-plant**. 2.ed. Ghent, Belgium: Lab. of Analytical and Agrochemistry, State University, 1983. p.58-67.
- CHANG, A.C.; PAGE, A.L.; WARNEKE, J.E.; GRGUREVIC, E. Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.13, n.1, p.33-38, 1984.
- DANG, Y.P.; CHHABRA, R.; VERMA, K.S. Effect of Cd, Ni, Pb and Zn on growth and chemical composition of onion and fenugreek. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, p.717-735, 1990.
- DHAESE, A. Effects of soil contamination on soil-plant relationship. In: COTTENIE, A.; VERLOO, M.; KIEKENS, L.; CAMERLYNCK, R.; VELGHE, G.; DHAESE, A. **Essential and non-essential trace elements in the system soil-water-plant**. 2. ed. Ghent, Belgium: Lab. of Analytical and Agrochemistry, State University, 1983. p.68-75.
- HANI, H.; GUPTA, S. Reasons to use neutral salt solutions to assess the metal impact on plant and soils. In: LESCHBER, R.; DAVIS, D.; L'HERMITE, P. **Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p.42-47.
- HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrients in moderately acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.74, p.111-122, 1983.
- HOLTZCLAW, K.M.; KEECH, D.A.; PAGE, A.L.; SPOSITO, G.; GANJE, T.J.; BALL, N.B. Trace metal distributions among the humic acid, the fulvic acid and precipitable fractions extracted with NaOH from sewage sludges. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.7, p.124-127, 1978.
- KIEKENS, L.; COTTENIE, A. Principles of investigations of the mobility and plant uptake of heavy metals. In: LESCHBER, R.; DAVIS, R.D.; L'HERMITE, P. **Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p.32-41.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.421-428, 1978.
- MARTINS, J.L. **Toxidez de cádmio e chumbo para plantas e microrganismos do solo**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1984. 150p. Tese de Mestrado.

- NATIONAL WATER COUNCIL. **Report of the subcommittee on the Disposal of Sewage Sludge to Land.** London, 1981. (Standing Tech. Comm. Rep., 20).
- NOBLE, A.D.; HUGHES, J.C. Sequential fractionation of chromium and nickel from some serpentinite-derived soils from the earsten transvaal. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.22, p.1963-1973, 1991.
- PAGE, A.L.; LOGAN, T.J.; RYAN, J.A. Introduction. In: PAGE, A.L.; LOGAN, T.J.; RYAN, J.A. **Land application of sludge. Food chain implications.** Riverside, USA: University of California, 1987. p.1-4.
- POMBO, L.C.A. **Absorção de metais pesados por plantas, e métodos de avaliação da disponibilidade de cádmio no solo.** Porto Alegre: UFRGS, 1992, 84p. Tese de Doutorado.
- POMBO, L.C.A.; SALGADO, V.; VOLKWEISS, S.J.; KLAMT, E. Efeito da incorporação aos solos de resíduos industriais no desenvolvimento do sorgo sacarino. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, p.157-168, 1986.
- PORTEOUS, G.C.; ADAMS, T.M.; SAUNDERS, J.R. Discussion. In: LESCHBER, R.; DAVIS, R.D.; L'HERMITE, P. **Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils.** London: Elsevier Applied Science, 1984. p.31.
- SAUERBECK, D.R.; STYPEREK, P. Significance of ion species and concentration for the determination of available cadmium in soils. In: NEWSLETTER from the FAO European Cooperative Network on Trace Elements. Ghent, Belgium: State University, 1984. p.21-25.
- SOON, Y.K. Solubility and sorption of cadmium in soils amended with sewage sludge. **Journal of Soil Science**, London, v.32, p.85-95, 1981.
- SPOSITO, G. Soil fertility. In: THE CHEMISTRY of soils. New York: Oxford University Press, 1989. p.246-262.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Departamento de solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. 94p. (Boletim Técnico, 5).
- TEIXEIRA, J.A.O.S. **Descarte de resíduo de curtume no solo.** Porto Alegre: UFRGS, 1981. 84p. Tese de Mestrado.
- TURNER, M.A.; RUST, R.H. Effects of chromium on growth and mineral nutrition of soybeans. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.35, p.755-758, 1971.