

DISPONIBILIDADE DE CÁDMIO EM DIFERENTES SOLOS DO RIO GRANDE DO NORTE

Thiago Medeiros Machado Oliveira

Estudante de Agronomia, UFERSA, CEP 59.626-050, Mossoró-RN
E-mail: thiagom.medeiros@bol.com.br

Alessandra Monteiro Salviano

Pesquisadora Embrapa Semi-Árido, caixa postal 23, Petrolina-PE, CEP 56302-970
E-mail: amendes@cpatsa.embrapa.br

Marcos Jerônimo Araújo de Moraes

Engenheiro Agrônomo

Gustavo Pereira Duda

Professor Adjunto, Departamento de Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró-RN, CEP 59625-900
E-mail: gpduda@ufersa.edu.br

Resumo – Este trabalho teve como objetivo avaliar quatro extratores químicos convencionais como: Mehlich- 1, Mehlich-3, DTPA-TEA e CaCl_2 como indicadores da disponibilidade de cádmio para plantas de milho (*Zea mays*), em solos do Estado do Rio Grande do Norte. Os solos foram submetidos à correção de pH e a análises químicas e físicas para sua caracterização. A determinação de cádmio total nas amostras dos solos foram feitas por meio da técnica de digestão em tubos digestores contendo ácido clorídrico com nítrico na proporção de 3:1 v/v (água régia). Os extratos foram lidos por espectrometria de absorção atômica, determinando-se a concentração de cádmio total nas amostras. Para a extração de cádmio nas plantas as amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica a proporção de 3:1 (v/v). As análises estatísticas foram feitas no programa Statistic 6.0, onde os dados foram submetidos à análise de variância e correlação, adotando-se níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade. A capacidade de recuperação dos extratores utilizados seguiu a seguinte ordem: Água Régia > Mehlich-1 > Mehlich-3 > DTPA-TEA > CaCl_2 . A água régia se mostrou um bom extrator para fitodisponibilidade, apresentando o segundo maior coeficiente de correlação. O CaCl_2 foi indicado o melhor extrator para a disponibilidade devido ter apresentado melhor correlação entre o teor de cádmio na matéria seca das plantas de milho e o extraído pelas soluções extratoras testadas. Em média o Neossolo Quartzarênico permitiu a melhor absorção de cádmio pelas plantas de milho e o Neossolo Flúvico e Cambissolo Háplico as menores.

Palavras-chave: metais pesados, extratores, absorção

AVAILABILITY OF CADMIUM IN DIFFERENT SOIL OF RIO GRANDE DO NORTE STATE

Abstract - This work had as objective studying the extraction of cadmium and evaluate four extractors as conventional chemical: Mehlich-1, Mehlich-3, TEA-DTPA and CaCl_2 as indicators of the availability of cadmium in plants (*Zea mays*) in soils of the state of Rio Grande do Norte. The soils were submitted to the correction of pH and chemical and physical analysis. The determination of total cadmium in samples of soil, were made through the technique of digestion digesters in tubes containing nitric acid with the ratio of 3:1 v / v (aqua regia). The extracts were read by the atomic absorption spectrometry, setting up the total concentration of cadmium in the samples. For the extraction of cadmium in the plant samples were submitted to digestion nitric-perclórica will ratio of 3:1 (v / v). Statistical analyses were made in the programme Statistic 6.0, where the data were submitted to the analysis of variance and correlation, is adopting levels of significance of 1% and 5% probability. The capacidae recovery of extractors used followed the following order: Water Régia> Mehlich-1> Mehlich-3> DTPA-TEA> CaCl_2 . The aqua regia was a good extractor for phytoavailability, presenting the second highest correlation coefficient. The CaCl_2 was given the best extractor due to the availability has presented better correlation between the cadmium content in dry plant maize and extracted by extratoras tested solutions. On average the Neossolo Quartzarênico led to better absorption of cadmium by plants of maize and Neossolo Flúvico and Haplic Cambisol the minors.

Keywords: heavy metals, extractors, absorption

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Estado do Rio Grande do Norte mostrou um crescimento considerável na atividade da fruticultura tropical, tornando-se um grande produtor de melão (245.552 t), como também de outras culturas como, banana (2.054 mil cachos), caju em fruto (277.236 mil frutos), coco (81.156 mil frutos produzidos e 2º maior exportador do Brasil), mamão (40.179 t, sendo 4º maior produtor do Brasil), manga (37.258 t), caju em castanha (24.664 t) e acerola (2.645 t). (IBGE, 2006).

Essa atividade agrícola, baseada no uso de alta tecnologia, com grande aporte de insumos, pode torná-la uma fonte antropogênica importante no acúmulo de metais pesados no ambiente (RAMALHO, 2000). Na última década, cresceu a exigência do mercado externo por boas práticas agrícolas (MAPA, 2006) que não causem tantos danos ao meio ambiente, principalmente no solo e na água. Também aumentou a demanda por produtos que não causem problemas de toxidez ao homem. No entanto, para isso é importante que se desenvolvam trabalhos de monitoramento do solo, da água e das plantas no que se refere aos teores máximos de metais permitidos pelos países importadores (MELO, 2008). A determinação da disponibilidade desses metais, torna-se muito importante para a avaliação dos riscos desses elementos serem absorvidos

pelos plantas e entrarem na cadeia alimentar (CAMARGO et al., 2001), comprometendo assim, a comercialização de nossas frutas e derivados no mercado internacional.

Dentre os extratores usados em todo o mundo, os mais empregados para diagnosticar a disponibilidade de elementos nos solos, estão o DTPA-TEA, Mehlich-1 e o Mehlich-3 (RAIJ, 1994), sendo que em geral os extratores utilizados para metais pesados são os mesmos usados na extração de micronutrientes. Contudo, devem-se desenvolver pesquisas que estudem o comportamento desses elementos no sistema solo-planta, a fim de encontrar soluções ou métodos de controle, que ajudem a monitorar o acúmulo desses metais nos solos e nas plantas, reduzindo os riscos de poluição ambiental.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar o teor pseudo total de cádmio, bem como avaliar e comparar quatro extratores convencionais

dentre eles: Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA-TEA e CaCl₂, como indicadores da disponibilidade de cádmio em plantas de milho (*Zea mays*) em cinco solos do pólo Fruticultor Assú-Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante período de março a outubro/2004, em casa de vegetação e no laboratório de Solos do Departamento Ciências Ambientais (Divisão de Solos) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Utilizaram-se amostras de solo nas profundidades de (0-10 cm) e (10-40 cm) de cinco solos do Estado do Rio Grande do Norte, sendo classificados como o Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Neossolo Quartzarênico (RQ), Neossolo Flúvico (RV), Cambissolo Háplico Típico (CX) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA). Os mesmos foram destorroados, secos ao ar, homogeneizados e passados em peneiras de 4 mm de abertura de malha. Amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foram submetidas à caracterização química (Tabela 1) e física, (Tabela 2) conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Antes da implantação do experimento todas as amostras foram submetidas à correção de acidez corrigindo-se seu pH, para uma faixa de 6,0 – 6,5 utilizando-se CaCO₃ + MgCO₃ na proporção de 4:1, seguindo-se o método de determinação da necessidade de calagem usada em Pernambuco (IPA, 1998). Posteriormente a adição do corretivo, as amostras foram incubadas por um período de 15 dias. Em seguida foi feita a aplicação do metal nas amostras de solo, deixando-as esse material incubadas por 30 dias e mantendo-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Após esse período, os solos foram acondicionados em vasos de plástico com capacidade de 3 dm³, plantando-se milho (*Zea mays*) como cultura indicadora. Quinze dias após a germinação fez-se o desbaste deixando uma planta por vaso, onde foram feitas adubações com 400 mg de P, 210 mg de K, 180 mg de S e 160 mg de N para cada dm³ de solo (ALVAREZ, 1974).

Tabela 1. Características químicas das amostras dos solos

Solo	Prof. (cm)	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K	P	C	MO
			-----cmol _c dm ⁻³ -----				mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹	
LVA	0-10	4,70	0,50	2,00	0,60	0,03	0,05	4,56	7,0	12,1
LVA	10-40	4,60	0,50	2,40	0,50	0,03	0,05	1,75	3,9	6,70
RQ	0-10	5,40	0,20	4,40	0,50	0,02	0,13	9,43	14,0	24,1
RQ	10-40	5,00	0,25	2,70	0,50	0,02	0,10	8,35	3,9	6,70
RV	0-10	6,60	0,05	6,60	1,80	0,05	0,58	8,97	11,7	20,2
RV	10-40	6,40	0,05	9,00	2,00	0,08	0,72	3,67	7,0	12,1
CX	0-10	7,30	0,00	13,0	2,30	0,17	1,87	16,41	13,2	22,8
CX	10-40	7,20	0,00	13,0	1,60	0,20	0,72	9,28	1,6	14,8
PVA	0-10	5,10	0,15	6,10	0,80	0,05	0,18	12,56	14,0	24,1
PVA	10-40	5,10	0,15	3,40	0,60	0,03	0,12	5,01	4,6	7,90

Tabela 2. Características físicas das amostras dos solos estudados

Solos	Prof. (cm)	Frações Granulométricas (kg kg ⁻¹)					Umidade (kg kg ⁻¹)		Densidade (kg dm ⁻³)		Porosidade Total (%)
		A.G ¹	A.F ²	A.T ³	Silte	Argila	0,03 Mpa	1,5 Mpa	Solo	Real	
LVA	0-10	0,77	0,19	0,96	0,01	0,03	0,02	0,00	1,46	2,53	42,22
LVA	10-40	0,73	0,24	0,97	0,01	0,03	0,01	0,00	1,57	2,50	39,51
RQ	0-10	0,69	0,26	0,95	0,00	0,06	0,03	0,01	1,42	2,56	44,68
RQ	10-40	0,56	0,36	0,92	0,02	0,06	0,03	0,01	1,50	2,60	42,28
RV	0-10	0,26	0,23	0,49	0,39	0,11	0,18	0,06	1,18	2,60	54,47
RV	10-40	0,08	0,15	0,23	0,64	0,12	0,22	0,03	1,20	2,56	53,11
CX	0-10	0,07	0,58	0,65	0,28	0,07	0,15	0,03	1,12	2,60	56,80
CX	10-40	0,06	0,81	0,87	0,10	0,04	0,06	0,01	1,26	2,60	51,55
PVA	0-10	0,47	0,14	0,67	0,20	0,19	0,17	0,08	1,42	2,67	46,64
PVA	10-40	0,40	0,14	0,54	0,22	0,24	0,19	0,10	1,37	2,70	49,41

1 Areia Grossa; 2 Areia Fina; 3 Areia Total

Para a obtenção do teor disponível de cádmio nos solos, utilizaram-se os seguintes extratores: Mehlich-1 (DE FELIPPO & RIBEIRO, 1997), Mehlich-3 (MEHLICH, 1984), DTPA-TEA (LINDSAY & NORVELL, 1978) e CaCl₂ (MAIZ, 1997). Passados 30 dias após o desbaste, fez-se à coleta das plantas, e as amostras, após secagem em estufa a 65°C, foram submetidas à digestão nítrico-perclórica. O teor de Cd nos extratos de planta foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

O ensaio foi montado em delineamento inteiramente casualizado com cinco solos (Latosolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Flúvico, Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho Amarelo), duas doses (0 – 570 mg dm⁻³ de cádmio) e duas profundidades (0 – 10 cm e 10 – 40 cm), com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e análises de correlação, adotando-se para estas análises níveis de significância 1% e 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, os maiores teores disponíveis de cádmio foram recuperados pelo uso do extrator Mehlich-1 (Tabela 3).

O maior teor foi detectado na camada superficial (0 – 10 cm) do Neossolo Quartzarênico (RQ), que foi de 239 mg dm⁻³, enquanto que o menor teor, 108,3 mg dm⁻³, foi observado no Neossolo Flúvico (RV), na camada subsuperficial. Como já foi explicado anteriormente, os extratores ácidos são muito agressivos, dissolvendo formas do metal que não estão disponíveis as plantas.

Para a solução Mehlich-3, observou-se o maior e menor teor de cádmio, 192,7 e 96,5 mg dm⁻³ respectivamente, nos mesmos solos e nas mesmas profundidades encontrados para o extrator Mehlich-1 (Tabela 3). Com relação ao DTPA-TEA o maior teor do metal foi extraído do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), sendo 222 mg dm⁻³, na profundidade mais superficial desse solo (0 - 10 cm), enquanto que o menor teor, 81,5 mg dm⁻³, também no mesmo solo e na mesma profundidade (10 - 40 cm) dos teores retirados pelo Mehlich-1 e Mehlich-3.

Quando se utilizou CaCl₂ observou-se os menores teores extraídos em relação as outras soluções extratoras, variando de 117 mg dm⁻³ na camada subsuperficial (10 - 40 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), e 5,7 mg dm⁻³ na camada superficial (0 - 10 cm) do Cambissolo Háplico (CX).

Tabela 3. Teores médios de cádmio extraídos dos solos após adição do metal

Solos	Prof.(cm)	com cádmio				
		Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA-TEA	CaCl ₂	Pseudo Total
LVA	0 – 10	151,00	141,70	110,00	83,00	250,00
LVA	10 – 40	168,70	150,70	136,00	72,00	325,00
RQ	0 – 10	239,00	192,70	192,30	84,00	466,70
RQ	10 – 40	151,50	115,70	114,30	81,00	166,70
RV	0 – 10	198,00	181,00	162,30	27,30	233,40
RV	10 – 40	108,30	96,50	81,50	35,70	216,70
CX	0 – 10	192,00	164,70	145,00	5,70	200,00
CX	10 – 40	167,50	153,70	124,70	6,70	216,70
PVA	0 – 10	199,30	185,00	222,00	111,30	450,00
PVA	10 – 40	210,00	170,30	166,00	117,00	283,40
CV (%)		25,94	30,86	30,56	53,15	41,56

Os teores pseudo-totais totais, extraídos com Água Régia, apresentaram-se variados sendo que o maior e o menor teor de cádmio detectado foram observados no Neossolo Quartzarênico, sendo de 466,7 mg dm⁻³ e 166,7 mg dm⁻³ para as camadas superficial e subsuperficial respectivamente. Em geral, houve uma tendência dos maiores teores serem encontrados na camada superficial para todos os extratores para disponibilidade e para a fração Pseudo-total. (Tabela 3). Esse comportamento

deve-se, provavelmente, ao ataque desses extratores à fração ligada a matéria orgânica do solo, como pode ser observado pelos coeficientes de correlação encontrados entre o teor extraído pelo Mehlich-1 (0,44*), Mehlich-3 (0,47*), DTPA-TEA (0,53*) e Água Régia (0,40*). Para os teores calculados em kg ha⁻¹, também se constatou variabilidade dos teores detectados pelos extratores analisados (Tabela 4).

Tabela 4. Correlação simples entre os extratores estudados

Variáveis	M-1	M-3	DTPA-TEA	CaCl ₂	Pseudo-total	Planta
M-1	1,00					
M-3	0,97*	1,00				
DTPA-TEA	0,97*	0,98*	1,00			
CaCl ₂	0,75*	0,73*	0,78*	1,00		
Pseudo-total	0,91*	0,91*	0,93*	0,77*	1,00	
PLANTA	0,68*	0,64*	0,64*	0,79*	0,70*	1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O extrator Mehlich-1 retirou teores variados, sendo o maior observado na camada inferior (10 - 40 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), que foi de 630 kg ha⁻¹, e o menor teor foi verificado na camada superficial (0-10 cm) do Latossolo Vermelho Amarelo, obtendo 151 kg ha⁻¹ de cádmio.

Com relação à solução Mehlich-3, o maior teor foi extraído da camada subsuperficial (10 - 40 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), apresentando 510,9 kg ha⁻¹ do elemento, enquanto que o menor teor detectado foi de 141,7 kg ha⁻¹, no Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), na profundidade de 0 - 10 cm.

O DTPA-TEA extraiu maior teor de cádmio na amostra do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), sendo 498 kg ha⁻¹ na camada subsuperficial desse solo (10 - 40 cm) e o menor teor foi detectado no Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), 110 kg ha⁻¹, na profundidade de 0 - 10 cm. Quanto ao CaCl₂ pôde-se verificar a menor extração dentre os extratores, detectando apenas 5,7 kg ha⁻¹ na parte mais superficial (0-10 cm) da amostra de Cambissolo Háplico (CX), enquanto que o maior teor que foi de 351 kg ha⁻¹, ocorreu na camada mais profunda (10 - 40 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), podendo-se constatar que para essa solução, o teor extraído ocorreu no mesmo solo e na mesma profundidade da extrações feitas pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA. No caso do teor Pseudo-total retirado com água régia, os valores foram diferenciados, sendo o maior detectado no Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) a uma profundidade de 10 - 40 cm e o menor constatado no Cambissolo Háplico (CX), na camada mais superficial desse solo, observando-se que esse menor teor se deu no mesmo solo e na mesma profundidade da menor extração feita pelo CaCl₂.

Em desacordo com a presente pesquisa, Anjos & Mattiazzo (2001) constataram que os extratores DTPA-TEA e o Mehlich-3 não foram eficientes para prever a disponibilidade de cádmio em solos que receberam biossólido. Além disso, pesquisa realizada por Monterroso (1999) observou melhores resultados na extração de cádmio usando solução Mehlich-3 em comparação com o DTPA-TEA, porque a acidez do reagente Mehlich-3 foi responsável por um alto poder de extração em particular para amostras alcalinas. Extrações com Mehlich-3 podem ter preferência em análises de rotina em laboratórios, devido o seu período de agitação ser bem maior em comparação ao tempo dos outros extratores (XIU et al.,1991). No entanto

King & Hajjar (1990) discordam desta pesquisa, onde relatam que os melhores resultados encontrados na extração desse metal pesado ocorreram com o uso DTPA-TEA como solução extratora em comparação com o Mehlich-3, avaliando-se o efeito residual do lodo de esgoto sobre a concentração de metais pesados em plantas de amendoim e tabaco com uso de um podzólico de textura média. Na avaliação de extratores distintos para analisar o cádmio disponível em solos, constatou-se que na extração com DTPA-TEA, conseguiram-se melhores resultados do que na realizada com CaCl₂, confirmando o observado neste estudo (KRISHNAMURTI et al., 2000).

A análise de correlação (Tabela 4), permitiu verificar que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA-TEA e CaCl₂ se correlacionaram positivamente, entre si ao nível de 5% de probabilidade, sendo as maiores correlações observadas entre os extratores Mehlich-3 com o DTPA-TEA (0,98*) e o Mehlich-1 (0,97*). Os menores coeficientes de correlação foram observados entre os extratores anteriormente citados e o CaCl₂. Com relação aos teores Pseudo-totais, observou-se que também houve correlação da Água Régia com os extratores, para disponibilidade apresentando valores bastante semelhantes a 5% de probabilidade, porém o Mehlich-1 (0,91*), Mehlich-3 (0,91*) e o DTPA-TEA (0,93*), apresentaram correlações um pouco maiores do que o CaCl₂ (0,77*) e maior capacidade de correlação. Conforme Mulchi et al. (1991) estudando correlações entre teores de cádmio absorvidos por plantas de tabaco, extraídos com Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA pH 7,3 em solo adubado com lodo de esgoto, constataram as melhores correlações para esse metal com DTPA-TEA pH 7,3, o que no presente trabalho não ocorreu, discordando dos resultados dos pesquisadores citados. Para os solos que receberam cádmio, observou-se correlações significativas e positivas entre a matéria orgânica e os extratores de maior destaque. Para as amostras de solo que não receberam cádmio, o pH pode ter influenciado na maior capacidade de extração do Mehlich-3 e do DTPA-TEA, embora o DTPA-TEA não tenha tido melhor desempenho na extração do elemento comparado ao Mehlich-1, que não apresentou correlação com o pH nesses solos sem cádmio. O Mehlich-3 correlacionou com o pH, mostrando uma correlação (r = 0,58*) e o DTPA-TEA (r = 0,95*). Não houve correlação com a matéria orgânica para nenhum dos extratores nessas amostras que não se adicionou o metal. A melhor correlação entre o teor de cádmio na matéria

seca das plantas de milho e o extraído pelas soluções extratoras testadas foi observada para o CaCl_2 indicando ser esse o melhor extrator para disponibilidade (Tabela 4). Apesar da fração total, comumente, não ser utilizada para prever a disponibilidade de metais, neste estudo a água régia se mostrou um bom extrator

para fitodisponibilidade, apresentando o segundo maior coeficiente de correlação (Tabela 4). Em média o Neossolo Quartzarênico (RQ) permitiu a maior absorção de cádmio pelas plantas de milho e o Neossolo Flúvico e o Cambissolo Háplico, as menores (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo das médias obtidas pela análise de variância para os extratores e teores totais extraídos com Água Régia

	Solo	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA-TEA	CaCl_2	Cd total	Planta
LVA	79,9 a	73,1 a	61,5 b	38,7 a	143,7 ab	36,0 ab	
RQ	97,6 a	77,1 a	76,6 ab	41,3 a	158,3 ab	48,1 a	
RV	76,6 a	69,4 a	60,9 b	15,7 b	112,5 ab	9,4 c	
CX	89,9 a	79,6 a	67,4 b	3,1 b	104,2 b	10,3 c	
PVA	102,3 a	88,8 a	98,0 a	57,1 a	183,3 a	27,1 bc	
Dose							
0 mgdm ³	0,087 b	0,110 b	0,008 b	0,063 b	0,00 b	0,00 b	
57 mgdm ³	178,5 a	155,1 a	145,8 a	62,3 a	280,8 a	52,4 a	
Profundidade (cm)							
0-10	97,9 a	86,5 a	83,5 a	31,1 a	160,0 a	23,6 a	
10-40	80,6 b	68,7 b	62,2 b	31,2 a	120,8 b	28,7 a	
CV (%)	25,94	30,86	30,56	53,15	41,54	65,63	

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em solos muito arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e conseqüentemente baixa CTC, esse elemento fica mais em solução facilitando sua absorção pelas plantas. Houve efeito significativo do fator solo para os extratores Mehlich-1 e Água Régia ($P < 0,05$) e DTPA-TEA e CaCl_2 ($P < 0,01$), indicando que esses extratores apresentaram sensibilidade as características dos solos estudados. Quando se comparou as médias dos teores de cádmio extraídos (Tabela 5), para os diferentes solos estudados, observou-se que os extratores DTPA-TEA, CaCl_2 e Água Régia mostraram diferença significativa. No DTPA-TEA o maior teor ocorreu no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e o menor no Neossolo Flúvico (RV). O CaCl_2 apresentou maior teor no Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) e menor no Cambissolo Háplico (CX). Para a água régia o maior teor foi detectado no Argissolo Vermelho- Amarelo (PVA) e o menor no Cambissolo Háplico (CX), não tendo os demais extratores diferido entre si.

Com relação ao fator dose, observou-se significância ao nível de 1% de probabilidade para todos os extratores, indicando que os teores extraídos foram influenciados pela dose aplicada como pode ser observado no Tabela 5, onde as maiores médias foram encontradas nas amostras onde se aplicou o metal.

Quanto ao fator profundidade, ocorreu efeito significativo ($P < 0,05$) para todos os extratores utilizados, todavia, o teste de Tukey (Tabela 5), não detectou diferença significativa para a solução extratora CaCl_2 que removeu a mesma quantidade de cádmio nas duas profundidades estudadas. Observando-se as médias dos teores de cádmio (Tabela 5), extraídos com os extratores em estudo, para as duas profundidades, observa-se que para os demais extratores recuperaram teores mais elevados na camada superficial do solo. Isso ocorreu, provavelmente, devido ao teor de matéria

orgânica ser maior nas camadas mais superficiais em relação às subsuperficiais.

Nas amostras superficiais (0 - 10 cm) do Neossolo Quartzarênico (RQ) e Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) encontraram-se maiores teores de cádmio removidos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, podendo essa maior extração ter sido influenciada pelo teor de matéria orgânica, visto que nas características desses solos pôde-se verificar maiores teores ($24,1 \text{ g kg}^{-1}$), em relação aos teores das outras profundidades das amostras estudadas. Vários estudos têm mostrado que o pH (SAUVÉ, 2000), matéria orgânica (KRISHNAMURTI & NAIDU, 2003) exercem grande influência na retenção de cádmio pelos solos. No entanto, na presente pesquisa, foi mais provável que o teor de matéria orgânica, tenha influenciado mais do que o pH na extração do metal, nestas amostras de solo que se destacaram.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que: A capacidade de recuperação dos extratores utilizados seguiu a seguinte ordem: Água régia > Mehlich-1 > Mehlich-3 > DTPA-TEA > CaCl_2 .

A água régia se mostrou um bom extrator para fitodisponibilidade, apresentando o segundo maior coeficiente de correlação.

O CaCl_2 foi indicado o melhor extrator para disponibilidade devido ter apresentado melhor correlação entre o teor de cádmio na matéria seca das plantas de milho e o extraído pelas soluções extratoras testadas

Em média o Neossolo Quartzarênico (RQ), permitiu a maior absorção de cádmio pelas plantas de milho e o Neossolo Flúvico (RV) e Cambissolo Háplico as menores.

Houve correlações significativas e positivas entre todos os extratores analisados na pesquisa. A matéria orgânica correlacionou com os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, influenciando na melhor extração desses extratores em comparação com o CaCl₂ e a Água Régia. O pH não apresentou correlações com os extratores, não influenciando no desempenho das soluções estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V., V.H. **Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125 p. (Tese Mestrado).
- ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolos tratados com biossólidos e cultivados com milho. **Science Agrícola**, v. 58, n.2, p.337 – 344, abr./jun. 2001.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E. et AL. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq: FAPESP; POTAFOS, 2001. 599p.
- DE FILIPPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise Química do Solo** (metodologia – 2ª edição). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1997. 26p.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal, v. 33, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2006/comentario.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2008.
- IPA – EMPRESA PERNAMBUCANA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco** (2ª aproximação). 2ª ed. Ver. Recife: IPA, 1998. 198p.
- KING, L.D.; HAJJAR, L.M. The residual effect of sewage sludge on heavy metal content of tabaco and planut, **Journal of Environnmetal Quality**, v.19, p.738 – 748, 1990.
- KRISHNAMURTI, G.S.R.; SMITH, L.M.; NAIDU, R. Method for assessing plant-available cadmium in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.38, p.823 – 836, 2000.
- KRISHNAMURTI, G.S.R.; NAIDU, R. Solid-solution equilibria of cadmium in soils. **Geoderma**, Amsterdam , v.113, n. 17-30, Apr. 2003.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society America Journal**, v.42, p.421 – 428, 1978.
- MAIZ, I.; ESNAQLA, M.V.; MILLAN, E. Evolution of heavy metal availability in contaminated soils by a short sequential extraction procedure. **Science of Total Environment**, v.206, p.107 – 115, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Boas Práticas Agrícolas (BPA) de plantas medicinais, aromáticas e condimentares / ed. preliminar Marianne Christina Scheffer, Cirino Corrêa Júnior; Coordenação, Maria Consolacion Udry, Nivaldo Estrela Marques e Rosa Maria Peres Kornijezuk. – Brasília : MAPA/SDC, 2006. 48 p. – (Plantas Mediciniais & Orientações Gerais para o Cultivo ; 1).
- MEHLICH, A. Mehlich – 3 soil test extractant: a modification of Mehlich – 2 extractant. **Communications Soil Science Plant Analisis**, v.15, p.1409 – 1416, 1984.
- MELO, Gabriel Maurício Peruca de; MELO, Valéria Peruca de ; MELO, Wanderley José de. Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola. **Ambientenet. Consultoria e análises**. Disponível em: <http://www.ambientenet.eng.br/>. Acesso em: 01 de ago. de 2008.
- MONTERROSO, C.; ALVAREZ, E.; MARCOS, M.L.F. Evolution of mehlich – 3 reagent as a multielment extractant in mine soils. **Land Degradation Development**, v. 10, p.35 – 47, 1999.
- MULCHI, C.L.; ADAMU, C.A.; BELL, P.F.; CHANEY, R.L. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended coastal plain soils – I. Comparison of extractants. **Comm. Soil Science. Plant Anal.** , v.22, p.919 – 941, 1991.
- RAIJ, B. Van: New diagnostic techniques, universal soil extractants. **Communications in Soil Science and Plant Analisis**, v.25, p.799 – 816, 1994.
- RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesq. agropec. bras.** , Brasília, v. 35, n. 7, 2000 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2000000700002>. Acesso em: 18 ago. 2008.

SAUVÉ, S.; HENDERSHOT, W.; ALLEN, H.E. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. **Environmental Science Technology**, Washington, v. 34, n. 7, p. 1125-1131, April. 2000

XIU, H.; TAYLOR, R.W.; SHUFORD, J.W.; TADESSE, W.; ADRIANO, D.C. Comparison of extractants for available sludge-borne metals – a residual study. **Water Air and Soil pollution**, v.57/8, p.913-922, 1991.