

# USO DE PRODUTOS INDUSTRIAIS NA INERTIZAÇÃO DE CÁDMIO PRESENTE EM RESÍDUO CONTAMINADO

ANACAROLINACALLEGARIO PEREIRA<sup>1</sup>; NELSON MAZUR<sup>2</sup>; NELSON MOURA BRASIL DO AMARAL SOBRINHO<sup>2</sup>; CLARICE DE OLIVEIRA<sup>2</sup>

1. Mestre em Agronomia – Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e-mail:acallegario@yahoo.com.br; 2. Professor do Departamento de Solos da UFRRJ. CEP 23890-000, Seropédica – RJ.

## RESUMO

Com o objetivo de reduzir a periculosidade de um resíduo contaminado oriundo da Cia Mercantil e Industrial Ingá, depositado inadequadamente às margens da Baía de Sepetiba, foram testados no Laboratório de Química do Solo, no Departamento de Solos na UFRRJ, a capacidade de ação de três produtos industriais na inertização de metais pesados. O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos utilizados foram: resíduo contaminado (Resíduo Ingá) (testemunha), resíduo contaminado + Produto 1 (0,5%), resíduo contaminado + Produto 1 (2,0%), resíduo contaminado + Produto 1 (5,0%), resíduo contaminado + Produto 2 (0,9%), resíduo contaminado + Produto 2 (2,4%), resíduo contaminado + Produto 2 (3,8%), resíduo contaminado + Produto 3 (0,3%), resíduo contaminado + Produto 3 (1,2 %) e resíduo contaminado + Produto 3 (2,2 %). Durante o experimento foram retiradas amostras de cada tratamento nos tempos de 0, 20, 40 e 60 dias, e em cada amostra foram realizadas determinações de pH (1: 2,5) e extrações simples utilizando os seguintes extratores: Água, Nitrato de Sódio, DTPA e Ácido Acético. A partir das concentrações de Cd obtidas nas extrações, estimou-se, por meio das diferenças nas quantidades extraíveis, as concentrações de Cd nas diferentes formas químicas. Os produtos industriais utilizados foram capazes de reduzir a solubilidade do Cd, reduzindo seus efeitos maléficos ao ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduo, contenção química, metal pesado.

## ABSTRACT

### THE USE OF INDUSTRIALS PRODUCTS IN THE IMMOBILIZATION OF CD PRESENT IN CONTAMINATED RESIDUE

With the objective of reducing hazard of a residue originated from Cia Mercantil e Industrial Ingá, disposed inadequately at Baía de Sepetiba coast, the residues were tested at Soil Chemistry Laboratory, in the Soils Department at UFRRJ, for the capacity of three industrial products to reduce heavy metals solubility. The experiment was constituted of ten treatments, each with three repetitions, totaling thirty experimental units. The experimental design was entirely randomly. The treatments were: contaminated residue (Ingá Residue) (reference), contaminated residue + Product 1 (0,5%), contaminated residue + Product 1 (2,0%), contaminated residue + Product 1 (5,0%), contaminated residue + Product 2 (0,9%), contaminated residue + Product 2 (2,4%), contaminated residue + Product 2 (3,8%), contaminated residue + Product 3 (0,3%), contaminated residue + Product 3 (1,2 %) e contaminated residue + Product 3 (2,2 %). During the experiment samples were taken from each treatment, at the first, 20th, 40th and 60th day. On each sample, they were determined pH (1: 2.5), and simple extractions using the following extractants: water, sodium nitrate, DTPA, and acetic acid. Starting with Cd concentration measured in the extractions, it was estimated, through differences in the amount extracted Cd concentration in the different chemical forms. The industrials products used were able to reduce Cd solubility, decreasing the dangerous effects to environment.

**Key words:** Immobilization, chemical containment, heavy metal.

## INTRODUÇÃO

Com o crescimento das sociedades de consumo, ocorre também um considerável aumento na produção

de resíduos. Atualmente, os processos produtivos industriais são muito diversificados, capazes de originar uma variedade de subprodutos e resíduos sólidos que normalmente não retornam aos processos produtivos

como forma de recuperar matéria e energia, sendo lançados ao meio ambiente de maneira desordenada interferindo nos sistemas naturais (Pinheiro, 2005).

Em função das características específicas dos resíduos, estes exigem cuidados especiais quanto ao manuseio, acondicionamento, coleta, transporte e destino final, a fim de evitar que causem danos ao meio ambiente (Amaral Sobrinho, 1993).

A Cia Mercantil e Industrial INGÁ, localizada no município de Itaguaí-RJ, é considerada a maior poluidora da região. Foi uma usina produtora de metal primário Zn, onde ocorreram atividades de mineração, redução e refino do metal, por aproximadamente 33 anos. A extração de Zn a partir do minério de calamina era feita pelo processo via úmida ou hidrometalurgia, onde o princípio fundamental era produzir um composto solúvel e lixiviável, e separar da lixívia as impurezas, obtendo uma solução purificada para fazer a eletrólise.

Os produtos obtidos eram o zinco puro e o ácido sulfúrico, sendo o último reutilizado como solvente. No processo de extração do metal, era produzido um resíduo sólido rico em impurezas contidas no minério e também obtidas por meio do processo de extração do zinco, como os metais pesados Cd, Pb, Mn, Ni, Co, Zn entre outros. O resíduo era disposto no pátio da indústria, sem condições apropriadas de armazenamento, aumentando os riscos de contaminação do meio ambiente, principalmente com Cd e Zn.

A melhoria das condições químicas deste resíduo contaminado de forma a reduzir a solubilidade dos metais, pode ser uma alternativa importante para a remediação das áreas impactadas na região próxima à Cia Ingá. Desta forma, este trabalho teve por objetivo

verificar a eficiência do uso de produtos industriais na inertização do metal Cd presente no resíduo contaminado (Ingá).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização do Resíduo Contaminado (Resíduo Ingá)

A amostra do resíduo contaminado (resíduo Ingá) utilizada foi coletada em Abril de 2002. A coleta consistiu em retirar amostras simples do topo, meio e base da pilha de resíduo mantida no pátio de armazenamento da indústria formando uma amostra composta de 100 kg (ABNT, 1987). No laboratório, a amostra do resíduo foi seca ao ar, destorroada e passada por peneira de 2 mm e acondicionada em sacos plásticos.

### Caracterização dos produtos industriais (Inertizantes)

**Produto 1:** É um resíduo oriundo da produção de borracha sintética (SBR). A geração deste resíduo é inerente ao processo de fabricação, uma vez que o látex, produto da reação de copolimerização do butadieno e do estireno, fica aderido às paredes dos vasos de processo. Sua destinação atual é a incineração, o que determina um elevado custo para destinação final.

**Produto 2:** É um resíduo alcalino oriundo da fabricação de ácido láctico, ao se alcalinizar o mosto fermentado, com um excesso de cal à temperatura de 80°C. O material é separado por filtração em filtro rotativo a vácuo utilizando gesso como pré-camada e que a ele se incorpora.

**Tabela 1** – Caracterização dos inertizantes utilizados.

Características	Produto 1	Produto 2
Forma	Sólida	Sólida
Cor	Cinza Escuro	Creme
Umidade	16,7 %	70 - 80 %
pH H <sub>2</sub> O	5,1	10,5 – 12,5
Matéria Orgânica Total	8,4 %	–
Cd	<0,001 mg k <sup>-1</sup>	0 mg kg <sup>-1</sup>
Zn	<0,1 mg k <sup>-1</sup>	10 mg kg <sup>-1</sup>
Análise realizado(a):	Hidroquímica Engenharia e Laboratórios LTDA.	Centro de Análises da UFRRJ, Campus DR. Leonel Miranda

A coleta destes produtos industriais utilizados como inertizantes, consistiu em retirar amostras do topo, meio e base da pilha de resíduos, formando uma amostra composta de 30 kg (ABNT,1987). No laboratório, amostras de cada inertizante utilizado, foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2mm e acondicionadas em sacos plásticos.

### Produto 3: Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>) - Reagente PA. Condução do Experimento

O experimento foi instalado em recipientes plásticos contendo 150 g da mistura dos resíduos, umedecidos a 80% da capacidade de campo permanecendo incubados por um período de 60 dias para posteriormente avaliar a capacidade dos produtos industriais inertizarem o Cd

contido no Resíduo Ingá.

Os tratamentos utilizados foram os seguintes: resíduo contaminado (testemunha); resíduo contaminado + Produto 1 (0,5 %); resíduo contaminado + Produto 1 (2,0 %); resíduo contaminado + Produto 1 (5,0 %); resíduo contaminado + Produto 2 (0,9 %); resíduo contaminado + Produto 2 (2,4 %); resíduo contaminado + Produto 2 (3,8 %); resíduo contaminado + Produto 3 (0,3 %); resíduo contaminado + Produto 3 (1,2 %) e resíduo contaminado + Produto 3 (2,2 %).

Foram retiradas amostras de cada tratamento em intervalos de 0, 20, 40, 60 dias, para a realização das extrações simples e pH em água (1:2,5). As extrações simples foram realizadas utilizando-se os seguintes extratores: Água (Miller *et al.*, 1986), Nitrato de sódio (Keller & Védý, 1994), DTPA (Lindsay & Norwell, 1978) e Ácido acético (Ure *et al.*, 1993).

Para todas as extrações, foram determinados os brancos, que consistiram em extrações sem os tratamentos. Todas as extrações foram realizadas com 3 repetições.

#### Determinação das formas químicas de metais pesados

A partir dos resultados obtidos por meio das extrações simples, foram estimadas as frações químicas de Cd, através das diferenças nas quantidades extraíveis:

F1 = Extraído com Água  $\Rightarrow$  Fração solúvel em água;

F2 = Extraído com  $\text{NaNO}_3$  - Extraído com Água  $\Rightarrow$  Fração trocável, que compreende os metais ligados eletrostaticamente às partículas do solo; F3 = Extraído com DTPA - Extraído com  $\text{NaNO}_3$   $\Rightarrow$  Fração predominantemente associada a óxidos de Fe e Mn mais cristalinos e a compostos orgânicos mais estáveis através da formação de complexos de esfera interna; F4 = Extraído com ácido acético - Extraído com  $\text{NaNO}_3$   $\Rightarrow$  Fração associada predominantemente a carbonatos e a óxidos de manganês amorfos pela formação de complexos de transição; F5 = Total -  $\sum$  (F1+F2+F3+F4)  $\Rightarrow$  Fração associada a compostos de alto grau de cristalinidade (fração residual).

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando-se o programa SAEG versão 5.0, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância de acordo com a diferença mínima significativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram determinados os teores totais, solúveis e lixiviáveis de alguns metais pesados contidos no resíduo Ingá (Tabela 2).

**Tabela 2** - Teores totais, solúveis e lixiviáveis de Zn, Cd, Mn, Pb, Fe, Cu, Ni no Resíduo da Ingá ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Fração	Zn	Cd	Mn	Pb	Fe	Cu	Ni
Total	22294,4	175,2	5525,6	2486,8	79986,7	123,2	32,0
Teste de solubilidade	1755 (7,9)	31,7 (18)	34,1 (0,6)	0,93 (0,04)	0,13 (0)	0,10 (0,08)	1,04 (3,2)
Teste de lixiviação		43,4		1,60			

Os números entre parênteses correspondem à percentagem em relação ao total. Fonte: Santos (2005).

Na tabela 2 observa-se que os teores totais de Zn, Cd, Mn, Pb e Fe foram altos. O teste de solubilidade mostrou concentrações solúveis elevadas de Zn e Cd, indicando, de acordo com as normas da ABNT (1987), a necessidade da realização do teste de lixiviação para classificação do resíduo. O teste de lixiviação apresentou concentrações lixiviáveis elevadas de Cd permitindo classificar esse resíduo como Perigoso. Objetivando-se reduzir os riscos ambientais causados pelo Resíduo Ingá, três inertizantes foram testados, sendo escolhidos de acordo com sua composição e forma de atuação na redução de solubilidade de Cd.

O Produto 1, é composto entre outras coisas, por matéria orgânica, que tem poder conhecido de inertização. A maior proporção da matéria orgânica do solo consiste em substâncias húmicas, constituídas

de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, que, sob a denominação de húmus, representam os principais agentes orgânicos envolvidos na complexação de metais no solo (Simão & Siqueira, 2001).

Stevenson (1977) mostrou que os ácidos húmicos e fúlvicos poderiam formar complexos solúveis e insolúveis com cátions polivalentes, no entanto, devido ao relativo baixo peso molecular e grande profusão de grupos ácidos, os complexos com ácidos fúlvicos seriam mais móveis.

A matéria orgânica possui afinidade pelos metais pesados presentes no solo, tal afinidade apresenta-se de duas formas: a matéria orgânica proporciona sítios de adsorção (específicos ou não), sendo portanto similar à adsorção de argilas e hidróxidos, e atua também como agente quelante do metal na solução do

solo, tais formas ocorrem em razão da sua configuração e profusão de grupos fenólicos e carboxílicos por ela apresentada (Simão & Siqueira, 2001).

Zunino *et al.*, (1979) comprovaram que os complexos mais estáveis eram produzidos com a união da matéria orgânica e metal por meio de grupos fenólicos e carboxílicos dentro da mesma molécula, existindo sítios de adsorção com alta especificidade, quando este estava presente em baixas concentrações.

A presença da matéria orgânica causa diminuição da solubilidade dos metais pesados, além de atuar como um dreno em solos contaminados. Ela também forma complexos solúveis (quelatos) com os metais pesados, e isso acontece através das moléculas orgânicas solúveis de baixo peso molecular que são produzidas durante a decomposição microbiana do resíduo orgânico no solo. Sendo assim, os metais pesados vinculados à matéria orgânica tornam-se protegidos das reações com os componentes inorgânicos do solo, tornando-os indisponíveis para absorção pelos vegetais. Este mecanismo ocorre mais freqüentemente no Fe, Zn, Cu e Mn (Simão & Siqueira, 2001).

Kabata-Pendias & Pendias (1992) demonstrou que a especiação de metais traço depende das características químicas e físicas do solo, dentre elas tem-se: pH do solo, potencial redox, carbonato, conteúdos de argila e de óxidos, textura, capacidade de troca de cátions (CTC), teor e qualidade dos compostos orgânicos na fase sólida e na solução do solo, competição por sítios de adsorção e quelatação, além das propriedades específicas de cada metal. Todas as características citadas influenciam na especiação e mobilidade do metal (Korcac & Fanning, 1985).

Em função dessas inter-relações, os metais são menos biodisponíveis à absorção radicular nos solos que possuem grandes quantidades de sítios de adsorção ou em ambientes químicos favoráveis à sua precipitação. Em solos com reação variando de neutra a alcalina, eles tornam-se menos solúveis e menos

disponíveis às plantas por formarem precipitados com hidróxidos e carbonatos. Uma outra consequência do pH na disponibilidade dos metais no solo é o aumento da CTC do solo, o que favorece a adsorção de cátions, sendo esse efeito mais pronunciado em solos com carga variável (Simão & Siqueira, 2001).

Diversos trabalhos têm mostrado que o pH é um dos fatores críticos no controle da solubilidade de Cd nos solos, sendo a manipulação do pH, o método considerado mais efetivo e rápido para o controle da biodisponibilidade e mobilidade de metais pesados em solos contaminados (Christensen, 1984).

O Inertizante 2, assim como o Inertizante 3 são alcalinos, característica muito desejada em práticas de inertização, pois o pH é uma das características que mais interfere no comportamento dos metais pesados no solo, sendo que o aumento da acidez favorece a solubilização e a mobilidade desses elementos (Simão & Siqueira, 2001).

Ao final do experimento foi observado, que os valores de pH da testemunha permaneceram constantes em todos os tempos de incubação. Apesar de os valores de pH não terem sofrido alteração neste tempo em condições controladas, não se pode afirmar que o mesmo acontecerá no montante de resíduo acumulado no pátio da Cia Ingá, pois neste caso deve ser considerada a ocorrência de precipitação (chuvas), que poderia causar variação no potencial hidrogeniônico (pH) (Tabela 3).

Em relação aos tempos de incubação, foi possível observar que a dose (0,5%) Produto 1 não sofreu efeito do tempo, provavelmente por oferecer baixa contribuição de matéria orgânica ao sistema, não tendo sido relevante a ponto de causar variações no potencial hidrogeniônico. As doses (2,0%) e (5,0%) Produto 1, foram capazes de proporcionar maiores valores de pH nos maiores tempos de incubação. O mesmo aconteceu para o Produto 3, no entanto para o Produto 2, a única dose capaz de causar variação foi a (0,9%) (Tabela 3).

**Tabela 3** – Valores médios de pH, ao longo dos tempos de incubação nos diferentes tratamentos.

Tempo (dias)	Testem.	Produto 1				Produto 2			Produto 3		
	Doses%										
	0,0	0,5	2,0	5,0	0,9	2,4	3,8	0,3	1,2	2,2	
0	5,9aEF	5,9aEF	5,7bF	6,0abDE	5,8bF	6,1aCD	6,5aB	6,0aDE	6,2bC	6,8cA	
20	5,9aDE	5,8aE	6,1aCDE	6,0bCDE	5,9aDE	6,1aCDE	6,5aB	6,3aBC	6,2bCD	7,1bcA	
40	6,0aB	5,9aB	6,0aB	5,9cB	5,9aB	6,1aB	6,5aAB	5,9aB	6,3aB	7,2bA	
60	5,9aCD	5,7aD	6,0aCD	6,0aCD	5,8abCD	6,1aCD	6,6aB	6,0aCD	6,2abBC	7,4aA	

Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas comparam as doses horizontalmente. As letras minúsculas comparam os tempos de incubação verticalmente.

**Tabela 4 – Valores percentuais de Cd nas diferentes frações químicas e tratamentos.**

Tempos de Incubação	Testemunha	Produto 1						Produto 2						Produto 3					
		0,5%	2,0%	5,0%	0,9%	2,4%	3,8%	0,3%	1,2%	2,2%	0,5%	2,0%	5,0%	0,9%	2,4%	3,8%	0,3%	1,2%	2,2%
Fração F1																			
0 Dia	17,3 bA	15,6aA	7,9abD	2,7abF	11,6 bBC	12,2 cB	10,5 bC	11,2abBC	4,9cE	3,1aF									
20 Dias	24,2 aA	16,1ab	7,2bC	1,8cD	19,5 ab	17,3 ab	9,8bC	10,5bC	7,4bC	0,7bD									
40 Dias	22,2 aA	17,2ab	8,6aF	3,1aG	16,4 ABC	15,0 bC	12,1 aDE	13,0aD	10,9aE	0,8bH									
60 Dias	23,5 aA	16,6aBC	7,7abE	2,2bcF	18,7 aB	15,8 abc	12,8aD	10,6bD	0,3dF	2,6aF									
Fração F2																			
0 Dia	2,5aA	2,1aA	1,8bA	1,6bA	1,3 aA	2,6 aA	1,3 bA	2,3aA	3,6aA	1,9aA									
20 Dias	2,3 aA	3,5aA	2,7bA	1,7abA	1,5 aA	2,1 aA	5,1 aA	2,9aA	1,5aA	1,2abA									
40 Dias	3,2 aA	1,0aCD	2,4bABC	2,7aAB	1,1 aCD	1,2 aCD	1,1 bCD	1,6ABCD	1,6ABCD	0,8bD									
60 Dias	0,5 bC	1,1aBC	6,1aA	1,2bBC	1,5 aBC	1,7 aBC	2,1 abBC	2,7aB	1,4aBC	1,7aBC									
Fração F3																			
0 Dia	1,4 aB	2,4aB	1,5aB	9,8bA	1,7 aB	2,8 aB	2,1 aB	1,2aB	1,3cB	3,8cB									
20 Dias	3,8 aB	1,8aB	1,9aB	13,6aA	0,3 aB	1,8 aB	2,6 aB	2,6aB	2,6aB	3,1bcB									
40 Dias	3,3 aBC	0,3aC	2,2aC	10,7abA	0,5 aC	1,4 aC	3,1 aC	2,5aC	4,4bABC	10,4abAB									
60 Dias	0,6 aB	2,2aB	3,3aB	11,8abA	1,9 aB	2,5 aB	3,0 aB	3,1aB	9,1aA	9,2bA									
Fração F4																			
0 Dia	5,8 aAB	6,1abAB	11,2aA	5,4bB	5,4 bcb	6,4 abAB	11,0 aA	8,4aAB	10,9aA	8,6abAB									
20 Dias	9,9 aA	1,9bAB	7,3aAB	1,9cAB	1,3 cB	3,6 bAB	5,9 aAB	1,6bB	8,2aAB	4,0bAB									
40 Dias	7,2 aA	1,3bA	0,7bA	10,1aA	7,6 abA	10,6 aA	9,0 aA	4,5bA	7,0aA	10,3aA									
60 Dias	1,1 aE	8,0aBC	9,5aBC	6,0bCD	9,9 aB	9,6 aBC	14,7 aA	7,8aBC	1,3bE	3,3bDE									
Fração F5																			
0 Dia	72,9 aD	73,8cCD	77,6cABCD	80,5aAB	80,1 aAB	75,9 aBCD	75,2 aBCD	77,0bABCD	79,3bABC	82,6aA									
20 Dias	59,8 bB	76,7bA	80,9bA	81,0aA	77,4 aA	75,2 aA	76,6 aA	82,5aA	79,8bA	80,6abA									
40 Dias	64,2 bD	80,3aAB	86,2aA	73,5bBC	74,3 abBC	71,7 bCD	74,6 aBC	78,5abABC	76,1bBC	77,7bBC									
60 Dias	74,3 aDE	72,2cEF	73,5dDEF	78,7aC	68,0 bG	70,3 bFG	67,4 aG	75,9bCD	87,9aA	83,3aB									

valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade: as letras maiúsculas compararam as doses, horizontalmente: as letras minúsculas compararam os tempos de incubação, dentro de cada fração química.

A dose (0,9%) Produto 2, foi a única a apresentar variações ao longo dos tempos de incubação, isto se deve possivelmente por ser a menor dose em relação às demais, possibilitando ainda a ocorrência de reações até que se alcance a estabilidade nos valores de pH. As doses (2,4%) e (3,8%) Produto 2, já foram capazes de alcançar estabilidade nos valores de pH no tempo 1. Uma das conseqüências do incremento do pH na disponibilidade de metais pesados é o aumento da CTC do solo, o que favorece a adsorção de cátions, sendo este efeito mais pronunciado em solos de carga variável (Simão & Siqueira, 2001).

O Produto 3, assim como o Produto 2 são alcalinos, entretanto observa-se comportamento diferenciado em relação às variações ocorridas ao longo dos tempos de incubação, o que pode ser explicado pela composição diferenciada entre os produtos. A dose (0,3%) Produto 3, não apresentou variação significativa ao longo dos tempos de incubação. Este comportamento pode ser explicado pela diferença na velocidade de reação Inertizante - Inertizado, que deve ser maior no caso da utilização do Produto 3, fazendo com que se atinja uma estabilidade nos valores de pH, já na menor dose. Portanto, os maiores valores de pH foram encontrados nas maiores doses dos Produtos utilizados.

A Fração F1 (referente aos íons livres em solução) e Fração F2 (fração química onde os íons apresentam-se adsorvidos como complexo de esfera externa), são as frações onde o elemento se encontra mais solúvel, portanto espera-se que menores valores sejam encontrados nelas, significando que a maior parte do elemento estará nas frações químicas mais estáveis, menos biodisponíveis. A Fração F3 (fração química em que os íons estão oclusos em óxidos, oxihidróxidos ou hidróxidos de Fe), F4 (íons estão precipitados) e F5 (Residual) são as mais estáveis quimicamente, e espera-se que maiores valores sejam encontrados, indicando eficiência dos produtos industriais na redução da solubilidade do Cd presente no Resíduo Ingá.

As maiores doses dos Produtos 1 e 3 proporcionaram menores valores na fração F1 e F2, assim como o Produto 2. Os valores encontrados não foram tão expressivos quanto os outros produtos utilizados, provavelmente por apresentar em sua composição algum componente não conhecido que bloqueie a ação total da alcalinidade. Entretanto estas doses foram responsáveis por maiores valores nas frações mais estáveis, provando que estas doses dos produtos foram as mais eficientes (Tabela 4).

Maiores valores de Cd foram encontrados nas frações mais estáveis, indicando que o uso dos produtos foi capaz de reduzir a solubilidade do elemento tornando-o menos biodisponível. Os maiores valores foram encontrados na fração residual, mostrando que ocorreu redução efetiva da solubilidade, atingindo o objetivo da pesquisa.

## CONCLUSÃO

O pH é um dos fatores a ser considerado no que diz respeito a solubilidade de Cd nos solos, pois influencia na sua biodisponibilidade. Neste estudo, os valores de pH do Produto 1, em condições controladas, não sofreram alteração nos tempos da avaliação, mas o mesmo pode não ocorrer no montante de resíduo acumulado no pátio da Cia Ingá, pois neste caso deve ser considerada a ocorrência de chuvas, que poderiam causar variações nos valores de pH. Quanto aos produtos industriais utilizados, os maiores valores de pH foram encontrados nas maiores doses utilizadas. Todos os produtos foram capazes de fazer o Cd passar de uma fração química menos estável para outra mais estável, mostrando eficiência na redução da solubilidade do elemento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Amostragem de resíduos sólidos. São Paulo, Projeto 1.63.02-004, 1987. 25p.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B. *Interação dos metais pesados de resíduos siderúrgicos com um solo podzólico vermelho-amarelo*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993, 163p. (Tese de Doutorado)
- CHRISTENSEN, T. H. Cadmium soil solInertizante 1tion at low concentrations: I. Effect of time, cadmium load, pH and calcium. *Water, Air & Soil Pollution*. v.21, p.105-114. 1984.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, Florida: CRC Press, 315p. 1992.
- KELLER, C.; VÉDY, J. C. Distribution of cadmium fractions in two forest soils. *Journal Environmental Quality*, v.23, p.987-999, 1994.
- KORCAC, R. F.; FANNING, D. S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material source. *Soil Science*, Baltimore, v.140, n.1, p.23-34, 1985.
- LINDSAY, W. L. ; NORWELL, W. A. Development of a DTPA test zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.42, p.421-428, 1978.
- MILLER, W. P.; MARTENS, D. C.; ZELAZNY, L. W.; KORNEGAY, E. T. Forms of solid phase copper enriched swine manure. *Journal Environmental Quality*, v.15, p.69-72, 1986.

- PINHEIRO, R. S. *Inertização de Resíduos perigoso através do uso de resíduos industriais alcalinos*. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005. 86p. (Dissertação de mestrado).
- SIMÃO, J. B. P. & SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: Características, implicações e remediação. *Informe agropecuário*, v. 22, n. 210, p.18-26, 2001.
- SANTOS, F. S. *Remediação da contaminação com metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos da produção de zinco*. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 85p. 2005. (Tese de Doutorado).
- STEVENSON, F. J. Nature of Divalent transition metal complex of humics acids as revealed by modified potentiometric titration method. *Soil Science*, v.123, n.1, p. 10–17, 1977.
- URE, A.; QUEVAUVILLER, P. H.; MUNTAU, H. & GRIEPINK, B. Speciation of heavy metals in soils and sediments, an account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *Intern. Journal Environ. Anal. Chem.*, v.51, p.135-151, 1993.
- ZUNINO, H.; AGUILERA, M.; CAIOZZI, M.; PEIRANO, P.; BORIE, F.; MARTIN, J. P. Metal Binding organic macromoleculas in soil: 3. Competition of Mg (II) and Zn (II) for Binding sites in humic and fulvic type model polymers. *Soil Science.*, v.128, n.5, p. 257-266, 1979.