



**Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto**  
Bioavailability of Cadmium on a Latosol Increased of Sewage Sludge

Renata de Carvalho Jimenez Alamino <sup>1</sup>; Helena Polivanov <sup>1</sup>;  
Tácio Mauro P. de Campos <sup>2</sup>; Vitor Hugo Gomes da Silva <sup>1</sup>;  
Leandro Victor dos Santos <sup>1</sup> & Julio Cezar Mendes <sup>1</sup>

<sup>1</sup> UFRJ / CCMN / IGEO, Depto. de Geologia, Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental.  
Av. Athos da Silveira Ramos, 149. Ilha do Fundão. 21941-909. Rio de Janeiro, RJ.

E-mails: r\_alamino@yahoo.com.br; hpolivanov@gmail.com; vhgslva@yahoo.com.br;  
leovictor22@yahoo.com.br; julio@geologia.ufrj.br

<sup>2</sup> PUC-Rio / Centro Técnico-Científico / Depto. de Engenharia Civil.  
Rua Marquês de São Vicente, Gávea. 22453-900. Rio de Janeiro, RJ.

E-mail: tacio@rdc.puc-rio.br

Recebido em: 07/06/2007 Aprovado em: 16/08/2007

## Resumo

O presente trabalho trata do estudo da biodisponibilidade de Cd no horizonte Bw de latossolo acrescido de uma única dose de lodo de esgoto. As amostras de latossolo e de lodo, respectivamente, foram coletadas no município de Duque de Caxias - RJ e na estação de tratamento de esgoto da Ilha do Governador (ETE Ilha), no município do Rio de Janeiro. A parte preliminar do estudo consistiu na caracterização dos materiais em laboratório por meio de ensaios físicos (granulometria, massa específica dos grãos, limites de Atterberg), químicos e físico-químicos (pH, carbono orgânico, CTC, ataque sulfúrico, fertilidade, análise química total) e mineralógicos (mineralogia por difração de raios-X). O lodo posteriormente foi incorporado ao latossolo e avaliou-se a biodisponibilidade do Cd na fração solúvel da mistura em questão. Os resultados mostraram que o Cd tornou-se biodisponível na solução na primeira hora de ensaio. Depois deste intervalo a concentração do metal disponível em solução diminuiu, ocorrendo uma estabilização nas horas subsequentes de coleta.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto; biodisponibilidade; Cd

## Abstract

This study was carried out to obtain the bioavailability of cadmium in a latosol increased of a single dose of sewage sludge. Representative samples of Bw horizon of a latosol, from Duque de Caxias city – RJ, and sewage sludge from ETE Ilha do Governador, in Rio de Janeiro city were collected. These materials were characterized due to its chemical, physical and mineralogical characteristics. Latter on, the samples were mixed together and bioavailability tests were accomplished. The results show that cadmium became bioavailable in the solution in the first hour of assay. After this interval the concentration of the available metal in solution it diminished, occurring stabilization in the subsequent hours of collection.

**Keywords:** sewage sludge; bioavailability; cadmium

## 1 Introdução

Numa sociedade em contínuo crescimento, o ímpeto pela conservação ambiental, a necessidade de minimização dos resíduos produzidos pelas atividades antropogênicas e a rentabilidade dos custos envolvidos nos processos de produção, são fatores que devem unir-se num único esforço. Dentro desse ideal, desde a década de 70, múltiplas pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando à utilização de lodo de esgoto.

Segundo Fernandes (2000), a composição média do esgoto aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (partículas minerais, sais e metais). Durante o processo de tratamento, ocorre a separação das frações sólida e líquida. O tratamento de esgotos resulta na produção de um lodo rico em nutrientes e matéria orgânica, denominado lodo de esgoto.

Devido a essas características, o lodo de esgoto pode desempenhar importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Dentre os efeitos do lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo, condicionadas principalmente pela presença de matéria orgânica, destacam-se a melhoria no estado de agregação das partículas, com conseqüente diminuição da densidade e aumento na aeração e retenção de água (Melo & Marques, 2000). Quanto aos aspectos químicos e físico-químicos, a aplicação de lodo ao solo tem propiciado elevação dos teores de fósforo (Silva *et al.*, 2002), de carbono orgânico (Cavallaro *et al.*, 1993), da fração húmica da matéria orgânica (Melo *et al.*, 1994), do pH, da condutividade elétrica e da capacidade de troca de cátions (Oliveira *et al.*, 2002).

Apesar dos efeitos benéficos da aplicação do lodo, este pode apresentar, também, uma série de metais pesados potencialmente tóxicos, tais como: zinco, cobre, níquel, chumbo, cádmio e mercúrio, entre outros (Oliveira *et al.*, 2003). Dessa forma, o lodo de esgoto tem que ser disposto de maneira que não contamine o solo e nem os recursos hídricos. Por disposição adequada entende-se a sua utilização controlada na agricultura e na remediação de áreas degradadas, o seu uso na fabricação de material de construção, a sua queima em incineradores ou a sua contenção em aterros sanitários (Mesquita *et al.*, 2006).

A disponibilidade e a solubilidade destes metais contidos nos lodos são controladas por fenômenos de adsorção, complexação, oxi-redução e precipitação, podendo alcançar níveis tóxicos nos solos. De acordo com Hue (1995), seu movimento é limitado e somente observado em solos arenosos e ácidos, com baixo teor de matéria orgânica e que receberam elevadas aplicações de lodo de esgoto associadas à elevada precipitação ou irrigação. Tackett *et al.* (1986) constataram lixiviação de Cd e Zn, em solos tratados com lodos compostados, na faixa de pH entre 5,5 e 6,0. Welch & Lund (1989) verificaram que o teor total de Zn lixiviado, assim como a profundidade de movimentação do elemento em solos tratados com o lodo foi negativamente correlacionado com o pH do solo.

Segundo Tsutya (2000), a taxa de aplicação de lodos para a recuperação de solos é função da qualidade da matéria orgânica e dos nutrientes necessários ao solo, para suportar a vegetação até que o ecossistema de auto-sustentação seja estabelecido. A taxa de aplicação típica é de 112ton secas/ha e normalmente esta é aplicada ao solo uma única vez. Dependendo da topografia e das características do lodo, pode ocorrer contaminação logo após a sua aplicação.

## 2 Objetivo e Justificativa

A partir do exposto, o presente trabalho buscou avaliar, por meio de ensaios laboratoriais, a biodisponibilidade do metal pesado Cd adicionado ao solo por meio da aplicação de uma dose única de lodo de esgoto.

A escolha do elemento Cd se deu por razão do alto grau de toxicidade do mesmo. Ao lado do Hg, o Cd é considerado o metal mais tóxico para o ser humano (Ferguson, 1989). Mesmo que os níveis de Cd no solo não alcancem valores alarmantes, o metal permanecerá em uma forma potencialmente disponível por muitos anos. A estimativa de meia-vida do Cd nos solos varia entre 15 e 1.100 anos (Alloway, 1990). Portanto, há assim a necessidade de monitorar o comportamento do Cd e de outros metais por um período mais longo.

## 3 Metodologia

Foram coletadas amostras representativas do horizonte Bw de um latossolo na rodovia Washington Luiz km 111, no Município de Duque de Caxias, RJ.

## Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto

Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov;

Tácio Mauro P. de Campos; Vitor Hugo Gomes da Silva; Leandro Victor dos Santos & Julio Cezar Mendes

As amostras de lodo de esgoto foram coletadas em janeiro de 2007, na estação de tratamento de esgoto da Ilha do Governador (ETE Ilha), no Município do Rio de Janeiro. Cerca de 25kg de amostra foram retiradas de diferentes pontos da caçamba, acondicionadas em sacos plásticos e vedadas. Em seguida, este material foi enviado ao laboratório de solos do Depto. de Geologia - UFRJ, seco ao ar, destorroado com rolo de madeira, quarteado e peneirado em malha de 2mm.

As análises para a caracterização do lodo de esgoto quanto ao potencial agrônomo e à presença de substâncias inorgânicas foram realizadas no Instituto Agrônomo de Campinas.

As análises químicas, físicas e mineralógicas do latossolo e a caracterização mineralógica da fração fina do lodo de esgoto foram realizadas nos Laboratórios do Setor de Geologia e de Engenharia Ambiental do Depto. de Geologia - UFRJ.

Por fim, o lodo foi incorporado ao latossolo e avaliou-se a biodisponibilidade do Cd na fração solúvel do solo em questão.

Detalhes das etapas da metodologia utilizada podem ser vistos no fluxograma da Figura 1.

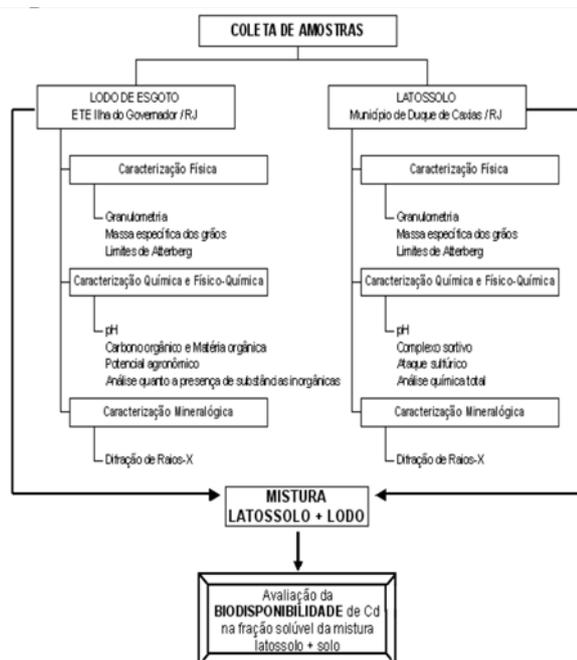


Figura 1 Esquema detalhado da metodologia de trabalho utilizada para avaliar a biodisponibilidade de Cd na mistura latossolo:lodo de esgoto, provenientes de Duque de Caxias – RJ e ETE Ilha do Governador – RJ, respectivamente.

### 3.1 Caracterização do Material

#### 3.1.1 Ensaios Físicos

Foram realizados ensaios de granulometria, massa específica dos grãos e limites de Atterberg, tanto no latossolo quanto no lodo. A análise granulométrica foi determinada com a combinação do método do peneiramento, NBR 7181 (ABNT, 1984) e da pipetagem; a massa específica dos grãos foi determinada segundo o método DNER – DPT M 93-64 (DNER, 1964) e os limites de Atterberg seguiram as normas NBR 6459 e NBR 7180 (ABNT, 1984).

#### 3.1.2 Ensaios Físico-Químicos e Químicos

##### 3.1.2.1 Determinação do pH

As análises do pH do lodo de esgoto e do latossolo foram realizadas por meio de eletrodo combinado imerso em uma suspensão solo:líquido na proporção 1:2,5 (água ou KCl), conforme Embrapa (1997). Com a finalidade de se obter a carga do solo calculou-se o valor de  $\Delta\text{pH}$  ( $\text{pH}_{(\text{KCl})} - \text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ ), classificando o solo como neutro ( $\Delta\text{pH}=0$ ), eletropositivo ( $\Delta\text{pH}>0$ ) ou eletronegativo ( $\Delta\text{pH}<0$ ).

##### 3.1.2.2 Carbono Orgânico e Matéria Orgânica

A análise do carbono orgânico foi realizada por via úmida, segundo Embrapa (1997). O percentual de matéria orgânica foi determinado multiplicando-se o teor de carbono orgânico pelo fator 1,724, utilizado em virtude de se admitir que na composição média do húmus, o carbono participa com 58%, conforme Embrapa (1997).

##### 3.1.2.3 Determinação do Complexo Sortivo e Fertilidade

A determinação do complexo sortivo (Na, K, Ca, Mg, H e Al) do latossolo foi realizada nos laboratórios da Embrapa-Rio, conforme Embrapa (1997), e a fertilidade realizada no lodo (P, Ca, K, Mg, Na, H+Al, S e CTC) foi determinada pelo Instituto Agrônomo de Campinas, conforme estipulado na Resolução 375 do Conama (2006).

### 3.1.2.4 Ataque Sulfúrico

Realizado no latossolo conforme método preconizado pela Embrapa (1997), onde foram determinados os compostos  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  e  $TiO_2$  e com base neles foram calculados as relações moleculares  $ki$ ,  $kr$  e  $Al_2O_3/Fe_2O_3$ .

### 3.1.2.5 Análise de Metais

O ensaio no latossolo foi realizado nos laboratórios do Depto. de Geologia – UFRJ, através do método de espectrometria de fluorescência de Raios – X.

No lodo foram utilizadas as referências contidas na norma US-EPA, SW-846, método 3051 (1994), com determinação por ICP-AES. A análise foi determinada pelo Instituto Agrônomo de Campinas.

### 3.1.3 Ensaios Mineralógicos

A mineralogia da fração argila foi determinada pelo método da difratometria de raios-X. Foram confeccionadas lâminas a partir da fração argila orientadas pelo método do esfregaço (Theisen & Harward, 1962) e estas foram submetidas a tratamentos de saturação com cátions de  $Mg^{++}$  seguida de glicolagem com etileno glicol, e cátions de  $K^+$  seguida de aquecimento a  $500^\circ C$  em forno tipo mufla. A distinção entre os argilominerais e as análises semiquantitativas dos mesmos foram efetuadas a partir dos difratogramas elaborados após os procedimentos citados.

### 3.2 Ensaio de biodisponibilidade

Este ensaio consistiu na mistura de uma determinada quantidade de massa de latossolo e de lodo de esgoto, obedecendo a dose estipulada por Tsutya (2000), em tubos de centrífuga, sendo este volume de solo saturado com água, por tempos predeterminados. Tem por objetivo analisar a biodisponibilidade do metal Cd presente no lodo de esgoto, quando lixiviado com água, buscando simular uma real situação de campo.

Inicialmente, foi determinada a “razão lodo: solo” (quantidade de massa de lodo seca ao ar dividida pela massa de solo utilizada nos ensaios) para

manter a proporcionalidade de aplicação no campo, buscando não superestimar nem subestimar os valores de contaminação.

Deu-se a biodisponibilidade por estabilizada quando não foi mais possível detectar uma variação considerável na concentração do metal estudado (limite de  $\pm 5\%$ ) nos intervalos predeterminados.

O delineamento experimental foi feito em tubos de centrífuga com capacidade para 80ml. Foi utilizada a dose de aplicação de lodo de esgoto para fins de recuperação de área degradada sugerida por Tsutya (2000): 112ton/ha, o que corresponde a 12,7g de lodo calculados para a área do tubo. Como esta dose não leva em consideração a profundidade do solo, apenas a extensão do mesmo e a quantidade de lodo, admitiu-se que a profundidade da camada avaliada no perfil de campo tenha sido de 1m. Com base na densidade do latossolo e na quantidade de lodo a ser aplicado por área, chegou-se a razão de 1g (de lodo) para cada 237,2g (de solo) no campo. Recalculando para o volume do tubo de ensaio, foram dispostos 1g de lodo : 16,7g de latossolo, e foi adicionada água deionizada até atingir a saturação do solo (40ml).

Os tubos de centrífuga foram levados ao sistema de agitação em tempos predeterminados de 1h, 2h, 4h, 10h, 12h e 24h. Após esses intervalos, foi realizada a separação da fase líquida e da fase sólida por meio de filtração, e a biodisponibilidade do metal Cd no lixiviado foi avaliada por espectrometria de absorção atômica.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Granulometria

A partir da Tabela 1, pode-se observar que o lodo de esgoto possui na sua composição predominância de material siltoso (65%), seguido da fração

Granulometria (%)						
Amostra	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
	6-2mm	2-0,6mm	0,6-0,2mm	0,2-0,06mm	0,06-0,002mm	< 0,002mm
Lodo	--	1	9	20	65	5
Latossolo	--	2	21	13	6	58

Obs: -- indica ausência desta fração

Tabela 1 Resultados das análises granulométricas realizadas no lodo de esgoto e no latossolo, provenientes da ETE Ilha do Governador – RJ e do município de Duque de Caxias – RJ, respectivamente

## Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto

Renata de Carvalho Jimenez Alaminov; Helena Polivanov;

Tácio Mauro P. de Campos; Vitor Hugo Gomes da Silva; Leandro Victor dos Santos & Julio Cezar Mendes

areia (30%), sendo caracterizada como silto-arenosa. No latossolo há uma predominância da fração argila (58%), seguida da fração areia (36%), sendo esse material caracterizado como argilo-arenoso.

### 4.2 Massa Específica dos Grãos

O resultado da massa específica dos grãos é apresentado na Tabela 2. Verifica-se que o latossolo possui massa específica mais elevada que o lodo de esgoto, condizendo com a literatura estudada.

Amostra	Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )
Lodo	1,99
Latossolo	2,66

Tabela 2 Resultados das massas específicas do lodo de esgoto e do latossolo, provenientes da ETE Ilha do Governador – RJ e do município de Duque de Caxias – RJ, respectivamente.

### 4.3 Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg (Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)) foram executados para estudar o comportamento do solo com a mudança dos teores de umidade (mudança de estado). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Amostra	LL	LP	IP
Lodo	--	--	NP
Latossolo	51,1	29,6	21,5

Tabela 3 Resultados dos limites de Atterberg (%) do lodo de esgoto e do latossolo, provenientes da ETE Ilha do Governador – RJ e do município de Duque de Caxias – RJ, respectivamente.

Para a classificação dos solos finos (silte+argila) segundo o SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos) é utilizada a carta de plasticidade. O solo estudado encontra-se dentro do grupo das argilas muito plásticas (CH).

### 4.4 pH

Os resultados das medidas dos valores de pH e  $\Delta$ pH para o latossolo e o lodo de esgoto encontram-se na Tabela 4. Constatou-se que ambas as amostras

têm um caráter ácido, destacando a maior acidez por parte do latossolo.

Os valores de  $\Delta$ pH obtidos indicaram que as amostras têm predominância de cargas superficiais negativas, tendo preferência em adsorver maiores quantidades de cátions do que de ânions para a sua superfície.

Amostra	pH em H <sub>2</sub> O	pH em KCl	$\Delta$ pH
Lodo	5,8	5,6	-0,2
Latossolo	4,2	4,1	-0,1

Tabela 4 Resultados da determinação do pH no lodo de esgoto e no latossolo, provenientes da ETE Ilha do Governador – RJ e do município de Duque de Caxias – RJ, respectivamente.

### 4.5 Carbono Orgânico e Matéria Orgânica

Os valores encontrados nos ensaios para determinação do percentual de carbono orgânico e de matéria orgânica para o lodo de esgoto são elevados, o que influencia de maneira significativa na elevação da CTC. Os resultados podem ser observados na Tabela 5.

Amostras	Carbono Orgânico (g/kg)	Matéria Orgânica (g/kg)
Lodo	337,2	581

Tabela 5 Resultados do carbono orgânico e do teor de matéria orgânica realizados no lodo de esgoto proveniente da ETE Ilha do Governador – RJ.

### 4.6 Complexo Sortivo e Fertilidade

Os resultados destas análises podem ser observados na Tabela 6 para o latossolo e na Tabela 7 para o lodo de esgoto.

CTC									
cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>							(%)		
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T	Valor V	100 Al <sup>3+</sup> /S+Al <sup>3+</sup>	
0,2	0,02	0,03	0,2	0	2,1	2,3	9	0	

Tabela 6 Resultados do complexo sortivo para a amostra de latossolo proveniente do município de Duque de Caxias – RJ.

## Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto

Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov;

Tácio Mauro P. de Campos; Vitor Hugo Gomes da Silva; Leandro Victor dos Santos & Julio Cezar Mendes

Fertilidade								
N Kj	N amon	N nítrico	Ca	S	P	Mg	K	Na
g/kg	mg/kg		g/kg	mg/kg				
23,4	1033	16	11,9	8,1	4,2	3,4	922	392

Tabela 7 Resultados da fertilidade para a amostra de lodo de esgoto proveniente da ETE Ilha do Governador – RJ.

Os dados apresentados na Tabela 6 mostram que os cátions  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $K^{+}$  e  $Na^{+}$  trocáveis apresentam valores muito baixos determinando valores S e T baixos, o que indica uma intensa lixiviação destes elementos. O latossolo é então classificado como de baixa atividade com caráter distrófico.

O resultado do ensaio de fertilidade do lodo confirma o alto potencial do mesmo para a utilização como condicionador de solos para a prática agrícola.

### 4.7 Ataque Sulfúrico

Este parâmetro foi realizado no latossolo e calculado os índices ki e kr e a relação  $Al_2O_3/Fe_2O_3$ , que podem ser observados na Tabela 8.

Ataque Sulfúrico						
g / kg						
Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ki	kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Latossolo	23	21,5	1,9	1,83	1,73	17,76

Tabela 8 Resultados encontrados no ensaio de ataque sulfúrico realizado no latossolo proveniente do município de Duque de Caxias – RJ.

Com base nos resultados, verifica-se um intenso processo de lixiviação no solo evidenciado por valores baixos de ki e kr. Pode-se afirmar que a área sofreu intenso processo intempérico e de latolização.

### 4.8 Ensaio Mineralógicos

Os resultados deste ensaio podem ser observados nos difratogramas ilustrados nas Figuras 2 e 3. A Figura 2 permite observar que a fração argila é composta predominantemente por caulinita, seguida por gibbsita e goethita.

Na Figura 3, referente à amostra de lodo de esgoto, pode-se observar que a fração argila deste material é composta predominantemente por caulinita, seguida por illita, goethita e traços de vermiculita.

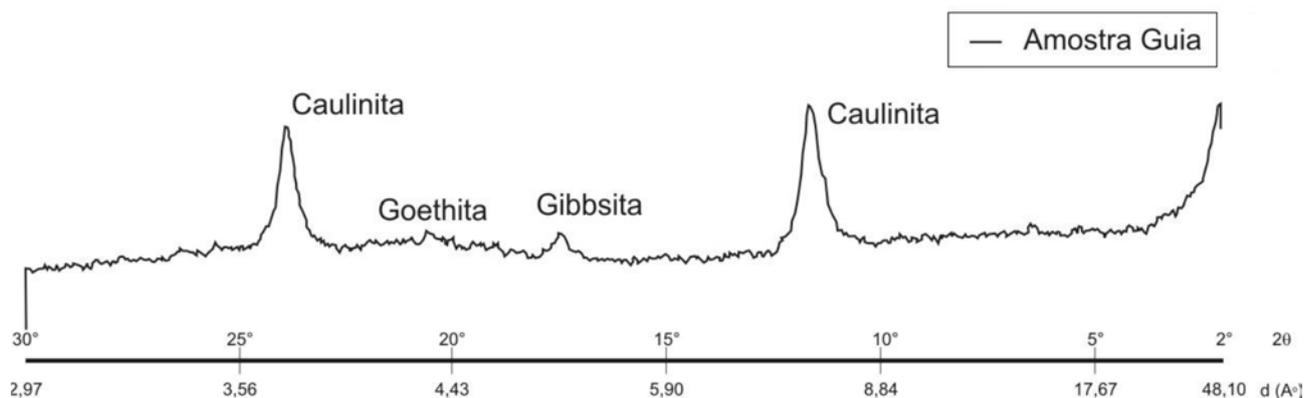


Figura 2 Difratograma referente à fração argila do latossolo proveniente do município de Duque de Caxias – RJ

## Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto

Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov;

Tácio Mauro P. de Campos; Vitor Hugo Gomes da Silva; Leandro Victor dos Santos & Julio Cezar Mendes

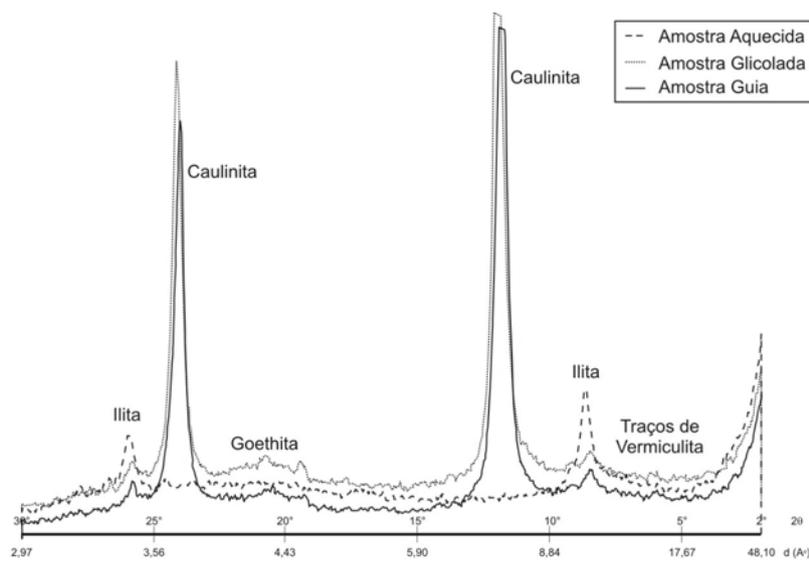


Figura 3 Difratograma referente à fração argila do lodo de esgoto proveniente da ETE Ilha do Governador – RJ.

O percentual de cada argilomineral é importante, principalmente no que diz respeito à capacidade de adsorção do solo. Dessa forma, foram realizadas análises semiquantitativas dos argilominerais sobre os difratogramas. A Tabela 9 apresenta a mineralogia encontrada na fração argila do lodo de esgoto e do latossolo e a proporção de seus constituintes.

Amostra	Mineralogia	(%)
Lodo	Caulinita	91
	Illita	5
	Goethita	3
	Vermiculita	1
Latossolo	Caulinita	79
	Gibbsita	13
	Goethita	8

Tabela 9 Porcentagem dos minerais presentes nas amostras de lodo de esgoto e latossolo, provenientes da ETE Ilha do Governador – RJ e do município de Duque de Caxias – RJ, respectivamente.

A análise dos dados mostra que o latossolo é predominantemente caulinitico, seguido de gibbsita e goethita, e o lodo de esgoto é representado basicamente por caulinita, contendo proporções menores de illita, goethita seguida de vermiculita.

### 4.9 Análise Química de Metais

A análise química total do latossolo indicou a presença dos compostos apresentados na Tabela 10

e também traços dos elementos Na, Mg, Ca, K, Cr, Mn, Ni, Nb, Y e Ce. Dessa forma, fica comprovado que o solo em questão não possui o elemento Cd, e assim não superestima os resultados dos ensaios de biodisponibilidade.

Composto	Concentração (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,406
SiO <sub>2</sub>	61,228
TiO <sub>2</sub>	0,906
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,883
ZrO <sub>2</sub>	0,178

Tabela 10 Resultado da análise química total para o latossolo proveniente do município de Duque de Caxias – RJ.

A análise do lodo quanto à presença de substâncias inorgânicas foi realizada pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) seguindo os critérios estipulados na Resolução Conama nº 375 (2006), que “define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”.

O resultado da análise química dos metais do lodo de esgoto estudado, os limites máximos de concentrações admissíveis de substâncias inorgânicas no lodo, os valores orientados para solos e para água subterrânea podem ser vistos na Tabela 11.

## Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto

Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov;

Tácio Mauro P. de Campos; Vitor Hugo Gomes da Silva; Leandro Victor dos Santos & Julio Cezar Mendes

É possível observar que as concentrações encontradas no lodo estão dentro dos limites permitidos, porém muito próximos ou superiores aos valores de referência para os solos, destacando-se aí a importância e a necessidade de um monitoramento minucioso quando o mesmo é utilizado como um condicionador de solo. A mesma atenção deve ser tomada com relação às águas subterrâneas, pois estes metais podem facilmente ser lixiviados, alcançando dessa maneira os mananciais hídricos.

Substâncias Inorgânicas	Conc. - lodo ETE Ilha	Conc. máx. permitida no lodo -base seca <sup>(1)</sup>	Referência de valores orientados para solos <sup>(2)</sup>	Referência de valores orientados em águas subterrâneas <sup>(2)</sup>
				mg/kg
Arsênio	3,7	41	3,5	10
Bário	138	1.300	75	700
Cádmio	3	39	<0,5	5
Cromo	31	1.000	40	50
Cobre	384	1.500	35	2000
Chumbo	139	300	17	10
Mercurio	<1	17	0,05	1
Molibdênio	9	50	<25	250
Níquel	13,8	420	13	50
Selênio	<1	100	0,25	10
Zinco	620	2.800	60	5000

(1) Conama (2006) (2) Cetesb (2001)

Tabela 11 Resultado da análise do lodo de esgoto, proveniente da ETE Ilha do Governador – RJ, quanto à presença de substâncias inorgânicas.

### 4.10 Ensaio de biodisponibilidade

Esse ensaio foi realizado utilizando o cádmio como marcador para analisar a biodisponibilidade deste elemento em um solo característico de climas tropicais quando acrescidos de lodo de esgoto.

A partir dos resultados da análise química do lodo, sabe-se que a concentração de Cd é de 3mg/kg. Ao realizar a mistura com o solo, seguindo a dose de aplicação de lodo sugerida para áreas degradadas, procurou-se estudar a biodisponibilidade através da determinação da concentração do Cd lixiviado com água deionizada.

Os ensaios indicaram que na primeira hora em que a mistura (lodo/latossolo) ficou em contato houve a maior transferência do metal para a solução (Figura 4). Depois deste intervalo é possível observar que a concentração do metal disponível em solução diminuiu, ocorrendo uma estabilização nas horas subsequentes de coleta (Tabela 12).

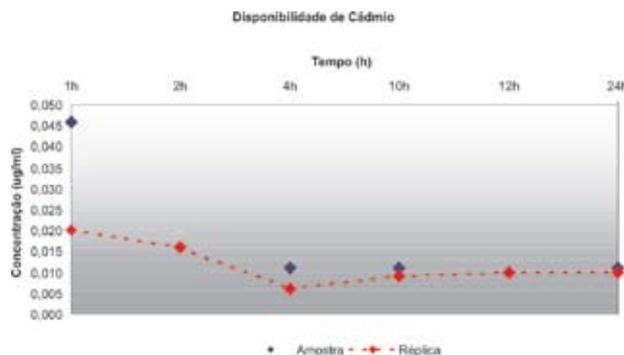


Figura 4 Biodisponibilidade de Cd (tempo x concentração) na fração solúvel da mistura latossolo:lodo de esgoto, provenientes do município de Duque de Caxias – RJ e da ETE Ilha do Governador – RJ, respectivamente.

Tempo (h)	Concentração (µg/ml)	
	Amostra	Réplica
1	0,046	0,020
2	0,016	0,016
4	0,011	0,006
10	0,011	0,009
12	0,010	0,010
24	0,011	0,010

Tabela 12 Resultado da biodisponibilidade de Cd em função do tempo na fração solúvel da mistura latossolo:lodo de esgoto, provenientes do município de Duque de Caxias – RJ e da ETE Ilha do Governador – RJ, respectivamente.

O balanço de massa preliminar em cada intervalo foi calculado (Figura 5). Nota-se que a partir do intervalo de 4h, maiores concentrações de metal ficaram retidas no solo. Observou-se que durante a primeira hora de ensaio o metal tornou-se biodisponível na solução, com isso processos como adsorção e troca iônica começaram a atuar entre o solo e a solução fazendo com que a concentração na água deionizada diminuísse na segunda hora de ensaio. A estabilização nas horas subsequentes de coleta (Tabela 13) pode ser explicada por constatar que o solo possui uma baixa CTC e dessa forma adsorveu a sua quantidade limite deste metal.

Tempo (h)	% Estabilização da concentração de Cd na solução	
	Amostra	Réplica
1	1,533	0,667
2	0,533	0,533
4	0,367	0,200
10	0,367	0,300
12	0,333	0,333
24	0,367	0,333

Tabela 13 Resultado da estabilização da concentração de Cd na fração solúvel da mistura latossolo:lodo de esgoto nos intervalos estudados, provenientes do município de Duque de Caxias – RJ e da ETE Ilha do Governador – RJ, respectivamente.

## Biodisponibilidade de Cd em Latossolo Acrescido de Lodo de Esgoto

Renata de Carvalho Jimenez Alamino; Helena Polivanov;

Tácio Mauro P. de Campos; Vitor Hugo Gomes da Silva; Leandro Victor dos Santos & Julio Cezar Mendes

### Balanco de massa do Cd no latossolo acrescido de lodo de esgoto

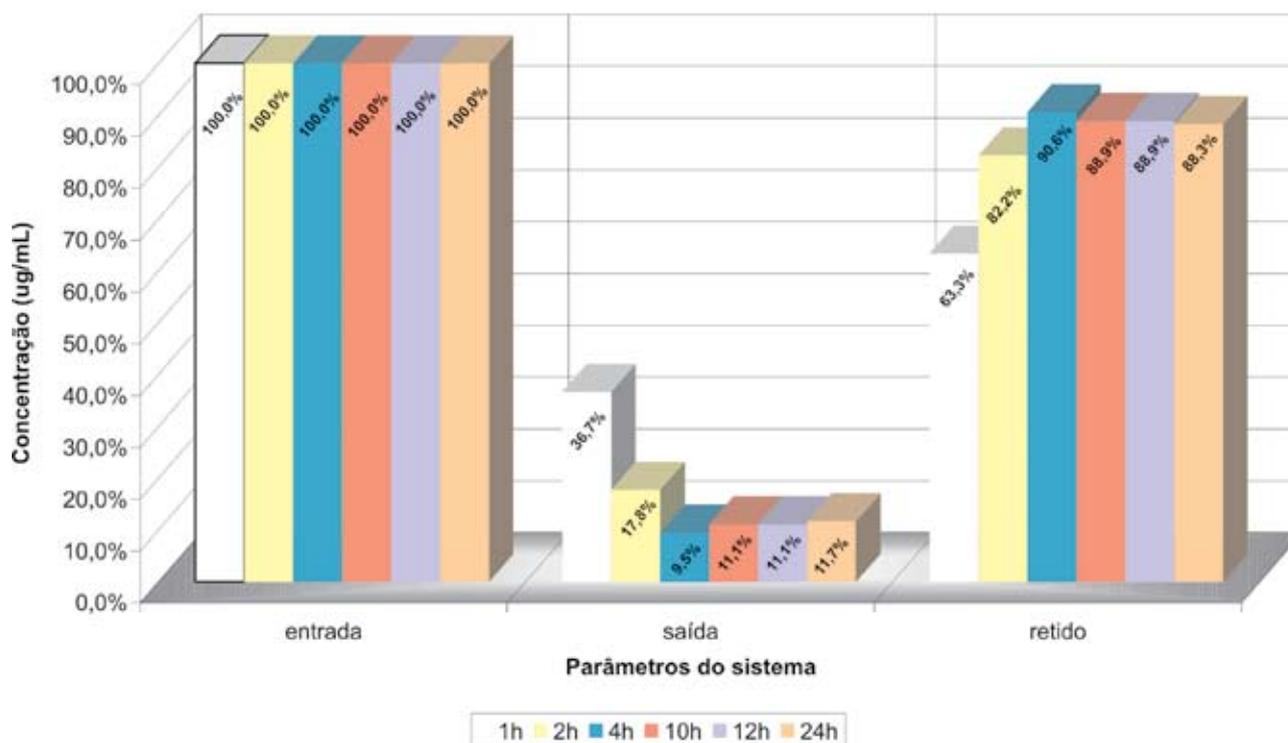


Figura 5 Balanço de massa do Cd na fração solúvel da mistura latossolo:lodo de esgoto, provenientes do município de Duque de Caxias – RJ e da ETE Ilha do Governador – RJ, respectivamente.

## 5 Conclusões

O latossolo estudado foi submetido a severos processos intempéricos evidenciados pelos índices  $k_i$ ,  $k_r$ ,  $\Delta pH$  e Valor T. Este pode ser classificado como argilo-arenoso e segundo a Classificação SUCS é caracterizado como CH (argila muito plástica). A composição mineralógica da fração argila é formada predominantemente por caulinita, seguida por gibbsita e goethita.

Já o lodo de esgoto pode ser classificado como silto-arenoso e os finos como não plásticos (NP). A composição mineralógica da fração argila é formada predominantemente por caulinita, seguida por ilita, goethita e traços de vermiculita. A concentração dos metais encontrada no lodo condiz com os limites de referências estipulados pela Resolução Conama nº375 (2006).

Os ensaios de biodisponibilidade do Cd na mistura estudada indicaram que na primeira hora de contato houve a maior transferência do metal para a solução, evidenciado também pelo balanço de massas do sistema. Depois deste intervalo a concentração do metal disponível em solução diminuiu, ocorrendo uma estabilização nas horas subsequentes de coleta. As hipóteses para explicar o acontecido são. Durante a primeira hora de ensaio ocorreu a liberação de grande parte do metal que estava disponível para a solução; após a primeira hora de ensaio, os processos de adsorção e troca iônica entre o lodo e o latossolo passam a ser atuantes e dessa forma, o metal fica menos biodisponível para a solução.

Com base na tabela de valores orientados para solos (Cetesb, 2001) a concentração do Cd que ficou retida no solo em todos os intervalos de observação é superior ao valor de referência estipulado ( $<0,5$  mg/kg), caracterizando a contaminação do solo estudado pela aplicação do lodo de esgoto.

## 6 Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Solo – Análise granulométrica. (NBR - 7181).
- \_\_\_\_\_. 1984. Solo - Determinação do limite de liquidez. (NBR-6459).
- \_\_\_\_\_. 1984. Solo - Determinação do limite de plasticidade. (NBR-7180).
- Alloway, B. J. 1990. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B. J. (ed.). *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley, p. 29-39.
- Cavallaro, N.; Padilla, N. & Villarrubia, J. 1993. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. *Soil Science*, 156:63-70.
- Cetesb. 2001. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e para águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo, SP, p.13.
- Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. 32p.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1964. Determinação da Massa Específica dos Grãos. (DNER - DPT M 093/64).
- Embrapa - CNPS. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 212p.
- Fernandes, F. 2000. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. (eds.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 45-68.
- Ferguson, J. E. 1989. *The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects*. Oxford: Pergamon Press. 614p.
- Hue, N.V. 1995. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J.E. (ed.). *Soil amendments and environmental quality*. Boca Raton, FL: Lewis Publ., p.193-239.
- Melo, W.J. & Marques, M.O. 2000. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. (eds.) *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p.109-141.
- Melo, W.J.; Marques, M.O.; Santiago, G. & Chelli, R.A. 1994. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:449-455.
- Mesquita, A.A.; Sobrinho, N. M. B. A.; Oliveira, C.; Mazur, N. & Santos, F.S. 2006. Remediação de solos tratado com lodo rico em zinco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10 (3): 738–744.
- Oliveira, C.; Amaral Sobrinho, N. M. B. & Mazur, N. 2003. Evaluación del potencial de contaminación de barro cloacal enriquecido con cadmio y cinc en dos suelos agrícolas. *Revista Terra, México*, 21 (3): 351-363.
- Oliveira, F.C.; Matiazzo, M.E.; Marciano, C.R. & Rosseto, R. 2002. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em latossolo amarelo distrófico cultivado com cana de açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:505-519.
- Silva, J.E.; Resck, D.V.S. & Sharma, R.D. 2002. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e adição de metais pesados em latossolo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:487-495.
- Tackett, S.L.; Winters, E.R.; Puz, M.J. 1986. Leaching of heavy metals from composted sewage sludge as a function of pH. *Canadian Journal of Soil Science*, 66 (4): 763-765.
- Theisen, A. A. & Harward, M. E. 1962. A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X-Ray diffraction. *Soil Science of American Proceedings*, 26: 90-91.
- Tsutya, M. T. 2000. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. (eds.). *Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, p 69-105.
- Welch, J.E.; Lund, L.J. 1989. Zinc movement in sewage-sludge-treated soil as influenced by soil properties, irrigation water quality, and soil moisture level. *Soil Science*, New Brunswick, 147 (3): 208-214.
- U.S. EPA – SW-846. 1994. *Test method for evaluating solid waste, physical chemical methods*.