

# RETENÇÃO DE METAIS EM SOLO DA ANTIGA ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE PASSO FUNDO – RS

Eduardo Pavan Korf <sup>1</sup>

Evanisa Fátima Reginato Quevedo Melo <sup>2</sup>

Antonio Thomé <sup>2,3</sup>

Pedro Alexandre Varella Escosteguy <sup>4</sup>

## RESUMO

A crescente contaminação de solos e águas subterrâneas pelos resíduos sólidos produzidos diariamente nas cidades ascende à necessidade de estudos que elaborem diagnósticos capazes de determinar a retenção desses contaminantes no solo. Este trabalho teve como objetivo a caracterização de metais no solo e a investigação da capacidade de retenção de metais em um solo de uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos na cidade de Passo Fundo, RS. A caracterização dos metais foi realizada através do método de extração por digestão e análise em espectrofotômetro de absorção atômica. Dois ensaios de coluna foram realizados para simular o fluxo dos contaminantes por um solo original e não-contaminado da área, sobre o qual foi realizada disposição do lixo. Os metais analisados foram: Cromo, Zinco, Cobre e Manganês. Um lixiviado artificial, com concentrações de metais inseridas, foi percolado pelo solo. A retenção de metais no solo original do aterro foi relevante, sendo maior para os metais Cobre, Cromo e Zinco. Apenas o Manganês atingiu o limite de retenção. Portanto, o solo natural da área possui alta capacidade de remediar estes metais.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos, retenção, ensaio de coluna

## ABSTRACT

**Metals retention in soil of ancient area of disposal of urban solid waste in Passo Fundo – RS.** The crescent soil contamination by urban solid waste (USW) denotes the necessity to find a solution to determine the soils attenuation capacity. The aim of this paper is the characterization of metal soil and metals natural

<sup>1</sup> Bolsista Pibic/CNPq. Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, UPF. eduardokorf@gmail.com

<sup>2</sup> Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, UPF.

<sup>3</sup> Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq – Nível II.

<sup>4</sup> Curso de Engenharia Ambiental e Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UPF.

attenuation capacity in a soil from one ancient disposal site of USW in Passo Fundo city, located in the south of Brazil. The characterization of metals was realized using the method of extraction by digestion and analysis in atomic absorption spectrometer. Two column tests were carried out to stimulate the flux of contaminants by an original and non-contaminated soil of the area. The metals analyzed in this work were: Chromium, Zinc, Copper and Manganese. An artificial leaching, with concentrations of metals, was used in soil percolation. The metals attenuation in the soil was relevant and it was higher for Copper, Chromium, and Zinc. Only Manganese reached the limit of attenuation. Thus, the natural soil has high capacity to mitigate these metals.

**Key words:** solid waste, attenuation, columns test

## INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são uma importante fonte de poluição e impactos ambientais, pois em muitos locais sua disposição ainda é feita nos lixões, de forma irregular. Nos lixões, não é observada qualquer ação para evitar as contaminações dos solos e águas subterrâneas. Os principais problemas provocados por este meio de disposição são: proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores e poluição do solo e das águas subterrânea e superficial, pela infiltração do lixiviado resultante dos processos de decomposição dos resíduos sólidos urbanos (Tressoldi e Consoni, 1998).

O lixiviado é proveniente de líquidos presentes nos resíduos e que são liberados durante o processo de decomposição e por infiltração de águas da chuva. Esses líquidos apresentam características físico-químicas e microbiológicas, as quais são resultados da transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas tóxicas presentes no resíduo. Esse líquido pode permear as camadas de fundo dos locais de disposição e contaminar as águas subterrâneas, além de serem transportados superficialmente para os mananciais próximos (ABNT, 1992; De Castilhos Jr. et al., 2003; Serafim et al., 2003; Oliveira e Jucá, 2004).

O lixiviado pode apresentar quantidades significativas de metais tóxicos, dentre os quais citam-se Al, Ni, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Mn e Fe. Os metais tóxicos, de um modo geral, podem desencadear problemas de toxicidade aos organismos que estiverem expostos, como plantas, animais e seres humanos, devido ao fato que os mesmos podem ser inseridos na cadeia alimentar e causar biomagnificação, devido à sua mobilidade nos diferentes compartimentos ambientais (Repetto, 1995; Oga, 1996).

A figura 1 apresenta os diversos fenômenos de transporte que ocorrem devido à migração de contaminantes em sub-superfície, segundo Moncada (2004).



Figura 1. Mecanismos de transporte de contaminantes em subsuperfície  
(Fonte: De Campos apud Moncada, 2004).

Conforme a figura 1, se o solo não apresentar qualquer retardo físico, as plumas de contaminações movimentam-se de acordo com gradientes de pressões mantendo sempre o mesmo valor da concentração inicial, o que caracteriza o processo físico de advecção pura. No entanto, o meio poroso apresenta-se como uma barreira que oferece resistência física ao escoamento da pluma e passam a existir mecanismos de dispersão hidrodinâmica ao longo do movimento da pluma, que sofre dispersão física, o que ocasiona uma retenção e redução da concentração do poluente. Já, levando em conta os processos de interação bio-físico-química como de sorção e degradação biológica, o poluente, além de resistência física, sofre reações e transferências físicas, químicas e biológicas, sofrendo retardo ou degradação (Shackelford, 1993; Azambuja et al., 2000; Delgado, 2006; Moncada, 2004; Sharma e Reddy, 2004; Knop, 2007).

A avaliação da remediação de áreas contaminadas com metais se dá através da avaliação dos processos de retenção física e da interação físico-química entre a pluma de contaminação e o solo. A capacidade retenção de metais em subsuperfície é garantida pelas diversas formas de retardamento físico-químico do transporte pelo meio poroso. Young et al. (1992) afirmam que os metais são atenuados no solo dependendo das condições do ambiente e dos tipos dos constituintes do sistema solo-

água ocorrendo formação de óxidos, hidróxidos, carbonatos, cátions trocáveis e migração para a matéria orgânica do solo.

O transporte e a retenção de metais em solos de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos já têm sido motivo de estudo de vários autores e o comportamento observado é de significativo potencial de retenção de metais nos solos, em especial nos argilosos. Rouse e Pyrih (1993) afirmam que solos com constituição argilosa podem agir como barreira geoquímica e prevenir o movimento de vários constituintes químicos. Young et al. (1992) apontam que diversos estudos para retenção de metais em solos argiloso indicam alta capacidade de retenção de metais, inclusive com o incremento do pH. Estudos de Oliveira et al. (2002) observaram a retenção de metais de lixiviados em solos argilosos de aterros sanitários e Lange et al. (2002) confirmaram a retenção de metais, em especial para o cromo.

Estudos se fazem necessários, pois o conhecimento do comportamento desses passivos ambientais auxilia no processo de gerenciamento e controle das contaminações, bem como no projeto de barreiras reativas e de contenção ou na aplicação de alternativas auxiliares de remediação. O local de estudo é uma antiga área de disposição inadequada de resíduos sólidos do município de Passo Fundo. Foram realizados estudos da retenção através de percolação de solução de metais em amostras de solo saturado original e não-contaminado da área, sobre o qual foi realizada disposição.

O objetivo do trabalho foi a caracterização de metais no solo e a verificação da capacidade de retenção de metais em um solo característico de uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos do município de Passo Fundo, RS.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Local de estudo

A área é um antigo local de disposição de resíduos sólidos urbanos do município de Passo Fundo. Esse local, conhecido como “Invernadinha”, serviu desde a década de 70 até o ano de 1991, como local de disposição de resíduos urbanos. Porém, após o ano de 1991, ainda ocorreu disposição de resíduos. Atualmente, o local foi cedido à Universidade de Passo Fundo para fins de pesquisa e monitoramento. A figura 2 apresenta a localização da área no município de Passo Fundo e a figura 3 uma imagem de satélite da área.



(Fonte: Adaptado de Meneghetti, 2007)

Figura 2. Localização da antiga área de disposição de RSU em Passo Fundo, RS (sem escala).



Figura 3. Imagem de satélite do local de estudo (Fonte: Map Link/Tele atlas, 2008).

## Solo

O solo estudado foi coletado em três pontos, realizando-se amostragem com pá de corte na profundidade de 10 a 20 cm. A tabela 1 apresenta a descrição dos pontos de coleta de amostra com as respectivas coordenadas UTM e a figura 4 uma planta planialtimétrica com os pontos de coleta de amostra. A tabela 2 apresenta as características físico-químicas dos solos.

Tabela 1. Pontos de coleta de material.

Ponto	Descrição	Coordenadas UTM	
1	Área de disposição da década de 90	O 363097.02	S 6876539.01
2	Área de disposição da década de 80	O 363067.64	S 6876723.36
3	Branco	O 363066.92	S 6876784.91

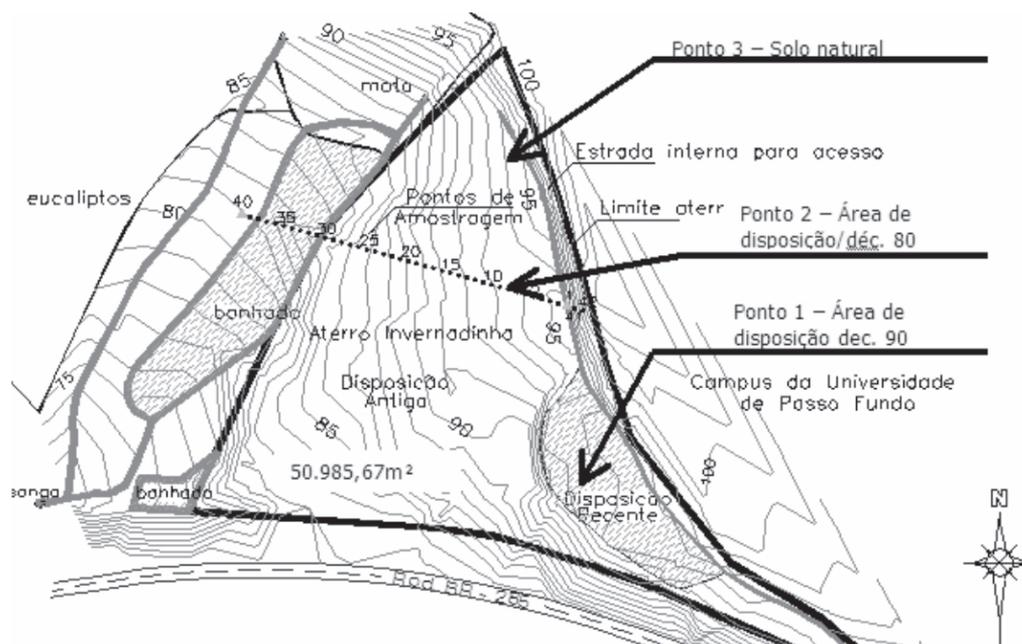


Figura 4. Planta do lixão Invernadinha indicando os pontos de amostragem (Escala 1:3000).

Tabela 2. Características físico-químicas dos solos.

	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	pH H <sub>2</sub> O	CTC* (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Matéria Orgânica (%)
<b>Ponto 1</b>	57,9	17,6	18,9	5,6	6,3	13,9	1,9
<b>Ponto 2</b>	38,7	24,9	30,4	6	5,9	15,3	6,4
<b>Ponto 3</b>	67,3	9,6	18,1	5	4,9	17,4	>0,8

\*Capacidade de troca catiônica.

Conforme a tabela 2, os solos dos pontos 1 e 3 são mais argilosos que o solo do ponto 2, o ponto 2 apresenta maior teor de matéria orgânica e a maior capacidade de troca catiônica (CTC) é registrada para o solo do ponto 3. A classificação geotécnica dos solos, obtida com base em ensaios de caracterização, indicou serem solos silto-argilosos e de alta compressibilidade e plasticidade, segundo ASTM (1993). O solo natural da área é um material residual pertencente à província geológica do Planalto Rio-grandense, segundo a geologia do Rio Grande do Sul, e à Bacia do Paraná segundo a geologia do Brasil (Bertorelli e Haralyi, 1998). Os solos são classificados, segundo sua pedologia, como Latossolos Vermelhos distróficos (Streck, 2002). Esses solos possuem boa drenagem, são muito intemperizados e classificados como profundos a muito profundos, apresentando transição gradual entre os horizontes.

A caracterização dos metais ambientalmente disponíveis no solo dos três pontos estudados foi determinada pelo método de extração por digestão 3050B, segundo USEPA (1996), e análise em espectrofotômetro de absorção atômica. Após os resultados foram comparados com os valores orientadores de referência de prevenção para solos conforme CETESB (2005).

### Ensaio de coluna

Para avaliação da capacidade de retenção dos metais, adotou-se o ensaio de coluna que reproduz o transporte de um poluente pelo solo (ASTM, 1995). O ensaio é executado em duas etapas, sendo a primeira de saturação do solo com água e a segunda da percolação do contaminante e geração de um líquido percolado. A figura 5 apresenta o equipamento de coluna utilizado no laboratório de Geotecnia da Universidade de Passo Fundo.

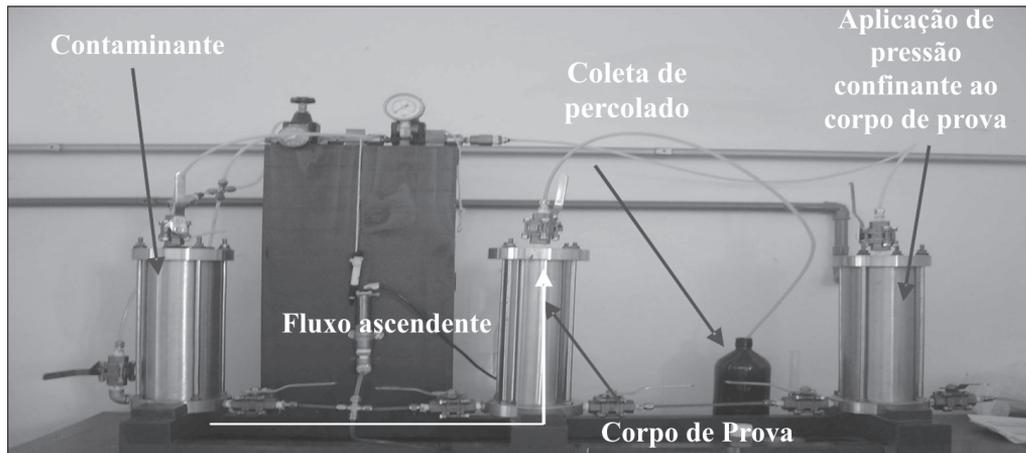


Figura 5. Equipamento de coluna.

Dois ensaios de coluna foram realizados para simular o fluxo dos contaminantes pelo solo do ponto 3 (Branco), um solo original e não-contaminado da área sobre o qual foi realizada disposição inadequada no lixão. Corpos de prova foram moldados com o solo, utilizando a massa específica e umidade natural medidas na área, e um lixiviado artificial foi elaborado com concentrações pré-estabelecidas de metais tóxicos. Os metais estudados foram: Cobre, Cromo, Manganês e Zinco. Extrapolou-se de 2 a 10 vezes o valor máximo permitido para águas subterrâneas, estabelecido na portaria n. 518/2004 do ministério da saúde (Brasil, 2004). Os valores inseridos na solução contaminante de lixiviado estão apresentados tabela 3.

Tabela 3. Concentrações de metais inseridos no lixiviado.

Metal	Portaria 518/2004 (mg.L <sup>-1</sup> )	Extrapolação	Concentração inserida (mg.L <sup>-1</sup> )
Cobre	2	10	20
Cromo	0,05	10	0,5
Manganês	0,1	10	1
Zinco	5	2	10

As tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente, os índices físicos dos corpos de prova utilizados nos ensaios e a características hidráulicas de cada ensaio.

Tabela 4. Índices físicos dos corpos de provas ensaiados.

Corpo de prova	Teor de umidade (%)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Massa específica (g.cm <sup>-3</sup> )	Índice de vazios	Porosidade	Volume de vazios (cm <sup>3</sup> )
1	19,3	9,92	5,00	1,65	0,98	0,50	97,01
2	19,3	9,88	5,00	1,66	0,98	0,49	96,10

Tabela 5. Características hidráulicas de cada ensaio.

Ensaio	Carga Hidráulica (kPa)	Gradiente hidráulico (i)	Condutividade hidráulica (m.s <sup>-1</sup> )
1	20	2	1,18.10 <sup>-6</sup>
2	32,6	3,32	2,87.10 <sup>-7</sup>

Após a percolação do lixiviado pelo solo, o líquido percolado foi coletado e foi realizada a análise dos metais presentes com o fim de se obter a curva de transporte ou chegada do contaminante (*Breakthrough*). A curva de chegada relaciona no eixo “x”, o número de poros percolados (volume percolado/volume de vazios) e no eixo “y” a concentração relativa do contaminante ( $C/C_0$ ). O ensaio é realizado até a relação  $C/C_0$  chegar ao valor unitário, ou seja, até quando ocorre um regime permanente de fluxo do contaminante pelo solo, que já estará saturado e não possui mais capacidade de retenção. A porcentagem de retenção do contaminante ao fim do ensaio é dada pela equação 1.

$$\% \text{ Retenção} = 1 - \frac{C}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

O primeiro ensaio foi realizado com 5 volumes de vazios percolados e o segundo ensaio foi realizado com cerca de 16,5 volumes de vazios percolados.

Com a curva de chegada do contaminante, é possível a retirada dos parâmetros de transporte como: fator de retardamento ( $R_d$ ) e coeficiente de distribuição ( $K_d$ ), parâmetros que explicam a sorção do contaminante e a influência da retenção dos processos bio-físico-químicos;  $D_h$  (coeficiente de dispersão hidrodinâmica), valor que explica a natureza e influência dos processo físicos de transporte (Delgado, 2006).

Para o caso do estudo, o valor do coeficiente de dispersão hidrodinâmica ( $D_h$ ) foi calculado a partir da relação empírica proposta pela equação 2, obtida em Delgado (2006). Na equação 2, " $V_s$ " é a velocidade de percolação do contaminante ( $m.s^{-1}$ ), " $L$ " é a altura do corpo de prova (m), " $J_{0,84}$ " é o valor da função de volume de poros (curva de transporte) quanto a relação  $C/Co$  for = 0,84 e " $J_{0,16}$ " é o valor da função de volume de poros (curva de transporte) quanto a relação  $C/Co$  for = 0,16.

$$D_h = \frac{V_s \cdot L}{8} \times (J_{0,84} - J_{0,16})^2 (m^2 \cdot s^{-1}) \quad (2)$$

A natureza dos processos físicos de transporte foi determinada pelo número de pecllet (" $Pe$ "), que pode ser determinado a partir da equação 3 (Moncada, 2004). Quanto à natureza dos processos físicos, pode-se dizer que para: " $Pe$ " < 0,01, há o domínio de fluxo difusivo; para " $Pe$ " entre 0,01 e 50 há domínio do fluxo difusivo e advectivo e para " $Pe$ " > 50, há predomínio do fluxo advectivo de transporte de poluentes.

$$Pe = \frac{V_s \cdot L}{D_h} \quad (Adimensional) \quad (3)$$

No caso de predominância de fluxo advectivo e difusivo ( $Pe < 50$ ), o fator de retardamento " $R_d$ " é equivalente à área acima da curva de transporte ou chegada, segundo Moncada (2004). Após determinado o parâmetro  $R_d$ , pode-se estimar o valor do coeficiente de distribuição ( $K_d$ ), pela equação 4 (Moncada, 2004). Na equação 4, " $\rho_d$ " é a massa específica seca do corpo de prova ( $g.cm^{-3}$ ) e " $n$ " é a porosidade do corpo de prova.

$$K_d = \frac{(R_d - 1) \cdot n}{\rho_d} (cm^3 \cdot g^{-1}) \quad (4)$$

## RESULTADOS

### Caracterização de Metais

A tabela 6 apresenta a caracterização de metais ambientalmente disponíveis nos solos dos três pontos estudados. As concentrações de Cobre e Cromo, para o ponto 2, apresentam-se acima dos valores orientadores, o que indica alteração da qualidade.

Tabela 6. Concentração de metais presentes nos solos.

	<b>Cromo</b>	<b>Zinco</b> mg.kg <sup>-1</sup>	<b>Cobre</b>	<b>Manganês</b>
<b>Ponto 1</b>	56,36	62,78	47,90	437,22
<b>Ponto 2</b>	1848,03	192,5	108,42	1113,62
<b>Ponto 3</b>	43,95	42,10	44,34	423,87
<b>CETESB (2005)</b>	75	300	60	-

### Ensaio de coluna

As tabelas 7 e 8 apresentam os resultados observados nos dois ensaios de coluna realizados. Nas tabelas “C<sub>o</sub>” significa a concentração de metais na solução contaminante e “C” significa a concentração de metais no percolado, após ensaio. O segundo ensaio foi submetido à uma quantidade maior de vazios percolados.

Tabela 7. Resultados observados no Ensaio 1.

<b>Ensaio 1</b>	<b>Cr</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<i>Vpercolado</i>
C <sub>o</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,5	10	20	1	<i>Vvazios</i>
Leitura do Percolado C (mg.L <sup>-1</sup> )	1	0	0,28	0	1,04
	2	0	0,18	0	2,04
	3	0	0,16	0	3,10
	4	0	0,22	0,04	4,10
	5	0	0,28	0,01	0,14
Relação C/Co obtida	0	0,03	0,001	0,14	5,09
Retenção(%)	100	97	99,9	86	

Tabela 8. Resultados observados no Ensaio 2.

<b>Ensaio 2</b>	<b>Cr</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<i>Vpercolado</i>
C <sub>o</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,5	10	20	1	<i>Vvazios</i>
Leitura do Percolado C (mg.L <sup>-1</sup> )	1	0	0,15	0	1,06
	2	0	0,17	0	5,5
	3	0	0,31	0	9,3
	4	0	0,59	0	12,4
	5	0	1,66	0	1,13
Relação C/Co obtida	0	0,16	0	1,13	16,43
Retenção (%)	100	84	100	0	

### Curva de chegada e Parâmetros de Transporte

A figura 6 apresenta o comportamento do Manganês (Mn) ao longo dos vazios percolados pela solução de lixiviado. A curva de transporte foi construída apenas para este metal, no segundo ensaio, pois para os outros elementos não se atingiu a relação  $C/C_0 = 1$ , ou seja, a saturação no solo.

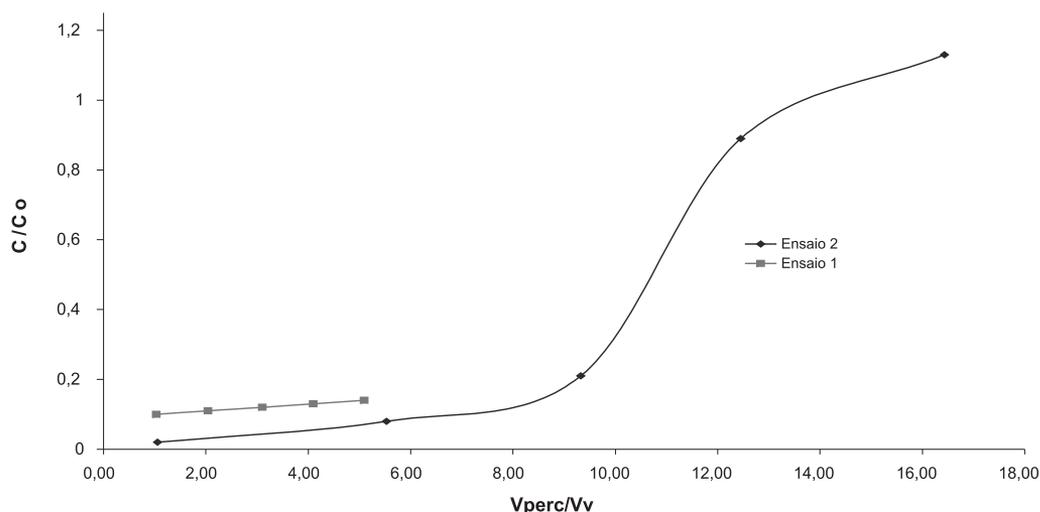


Figura 6. Comportamento do Manganês nos ensaios.

Os resultados apresentados nas tabelas 7 e 8 e na figura 6 destacam o retardamento do contaminante de estudo, ao longo dos poros percolados. Para a maioria dos metais, as concentrações nas leituras do percolado apresentaram valores mínimos em relação à inserida e o comportamento de retenção do solo foi confirmado. A retenção, no segundo ensaio, após a percolação de cerca de 16,5 volumes de vazios, foi de 84 % para o Zinco e a de Cobre e Cromo 100 %. Para os ensaios realizados, a retenção preferencial foi maior para o Cromo, seguido do Cobre, Zinco e Manganês.

A capacidade de retenção do Manganês foi cessada, pois foi atingida a relação  $C/C_0 = 1$ . Essa relação foi atingida com a percolação de cerca de 16,5 volumes de vazios, o que significa que, a partir disso, não ocorre mais retenção do metal. Essa rápida saturação do Manganês pelo solo é explicada pela alta concentração presente no solo, conforme visualizado na tabela 6, em que o mesmo se apresenta como o metal com maior concentração para o solo original (ponto 3). Também, pode ser explicado que o valor 1,13 encontrado para relação  $C/C_0$  ao fim do ensaio mostra

tanto o fim da retenção como uma liberação adicional do metal para o efluente percolado. Para o Manganês, o valor do coeficiente de distribuição ( $K_d$ ) foi de  $3,3 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , o fator de retardamento ( $R_d$ ) foi de 10,1, o valor do coeficiente de dispersão hidrodinâmica ( $D_h$ ) foi de  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  e o número de pecllet foi de 0,73 o que caracteriza um fluxo de natureza advectiva-difusiva.

## DISCUSSÃO

Oliveira e Jucá (2004) estudaram o acúmulo de metais pesados e interação com solo argilo-arenoso e de baixa permeabilidade, abaixo de uma célula de um aterro de RSU da Muribeca de Recife, PE. O mesmo comportamento observado para o transporte de Manganês, neste estudo, foi observado para os metais como chumbo, Cobre e Cromo, em que o alcance da frente de contaminação foi de natureza advectiva-dispersiva (difusiva) e regida pela presença de microorganismos e substâncias orgânicas.

A capacidade retenção de metais foi garantida pelas diversas formas de retardamento do transporte pelo meio poroso. Esses processos são de natureza não-destrutiva e resultam na redução das concentrações de contaminantes, mas não da massa total presente. Eles apresentam, segundo Sharma e Reddy (2004), a mais importante contribuição para os mecanismos de retenção natural. Dentre os possíveis processos envolvidos pode-se citar: os dispersivos, como difusão e dispersão, a sorção e reações de precipitação, óxido-redução e complexação, conforme apresentado na figura 1.

Um estudo, realizado por Lange et al. (2002), verificou a capacidade de retenção de metais em amostras naturais do solo argiloso do aterro de disposição de RSU de Catas Altas, MG. Da mesma forma que os resultados obtidos nesse trabalho, os autores evidenciaram um significativo potencial de retenção de metais, especialmente para o Cromo.

Estudos realizados por Almeida e Shalch (2005) investigaram a mobilidade de metais em chorume de aterro sanitário quando esse foi submetido em colunas de percolação em solo arenoso do Aterro de São Carlos, SP. A retenção preferencial ocorreu para os metais Cádmiio, Chumbo, Cromo, Cobre e Manganês em relação aos metais Ferro, Zinco e Níquel. A conclusão foi da capacidade evidente de retenção de contaminantes inorgânicos. Em relação aos resultados obtidos neste trabalho o mesmo comportamento foi evidenciado para os metais Cobre e Cromo em relação ao Zinco e ao Manganês.

Korf et al. (2007) estudaram a retenção de metais de um solo compactado de fundo da Lagoa de Estabilização de Lixiviado do Aterro Sanitário do Município de Carazinho – RS. Para estudo da percolação do lixiviado pelo solo, foram realizados ensaios de coluna. Os autores evidenciaram alta retenção dos metais Alumínio, Cobre, Cromo, Manganês, Zinco e Ferro no solo, pois as concentrações retidas no solo foram elevadas. Em comparação com os dados observados nesta pesquisa obteve-se comportamento semelhante para Cromo, Zinco e Cobre.

Machado et al. (2004) realizaram diagnóstico da contaminação de metais em um solo argiloso de alta plasticidade, na cidade de Santo Amaro – Ba, em decorrência de disposição irregular de escória de processo de beneficiamento de chumbo. Após a realização de ensaios em coluna e simulação numérica, os autores determinaram um elevado potencial de sorção do solo, ocasionando coeficiente de distribuição ( $K_d$ ) de  $19,51 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  e fator de retardo de  $R_d = 52,7$ . No entanto, devido às altas concentrações das contaminações causadas por disposição irregular, ainda, ocorreu a lixiviação para águas de superfície, demonstrando que a capacidade de retenção presente no solo como barreira natural existe, mas sozinha não foi capaz de impedir a propagação do poluente. Comparando estudos de Machado et al. (2004), com comportamento semelhante de alta sorção de solo semelhante obtida nesta pesquisa, pode-se dizer que existe vulnerabilidade de contaminação como é o caso do Manganês, que apresentou menor retenção pelo solo do que Zinco, Cobre e Cromo.

Dados de Machado (2006), que estudou a poluição de metais nos solos e águas da antiga área de disposição “invernadinha”, afirmam que as águas subterrâneas apresentam alteração na qualidade devido à presença de metais Ferro e Manganês. O metal Manganês apresentou alteração de 27 até 38 vezes o parâmetro de qualidade, segundo a portaria n. 518 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004) o que confirmou o comprometimento da qualidade devido ao baixo poder de retenção existente no solo. Para os outros metais, como Cobre, Zinco, Cromo, Cádmio, Chumbo e Níquel, Machado (2006) não encontrou alteração na qualidade o que confirmou o poder mais acentuado de retenção, conforme, também, verificado neste estudo pelo Cobre, Zinco e Cromo.

## CONCLUSÕES

O trabalho avaliou a caracterização e a capacidade de retenção de metais em um solo saturado original não contaminado e característico de uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos. A partir dos resultados obtidos foi possível chegar às seguintes conclusões:

- Apenas o solo do ponto 2, da área de disposição da década de 80, apresentou alteração da qualidade em relação à presença dos metais Cobre e Cromo;

- Para a maioria dos metais, não foi possível atingir o limite máximo de retenção dos solos ao longo da quantidade de volume de lixiviado percolado. Apenas para o Manganês o limite de retenção foi atingido.

- A retenção de metais no solo original do aterro é relevante, sendo maior para os metais que apresentam menor presença no solo como Cobre, Cromo e Zinco. Isto representa uma alta capacidade de remediação pelo solo de uma pluma de contaminação resultante da decomposição resíduos sólidos urbanos.

- O solo natural da área estudado apresenta capacidade de remediar estes metais por retenção sendo necessário um monitoramento contínuo das águas subterrâneas e superficiais, pois existe limitação a longo prazo, como foi o caso do Manganês.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio fornecido pelo CNPq pelo financiamento de bolsa de pesquisa ao primeiro (processo 800896), e segundo autor (processo 30320020057) e a FAPERGS (projeto PRONEX-FAPERGS 0408410) pelo apoio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. L.; SCHALCH, V. 2005. Estudo da atenuação de Cd, Pb e Zn de líquidos percolados no solo. In: CONGRESSO MUNDIAL DA INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION E ASSOCIATION PARA EL ESTUDIO DE LOS RESÍDUOS SÓLIDOS, 2005, Buenos Aires - Argentina. CD-ROM.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1993. **Standard classification of soils for engineering purposes: D2487**. Philadelphia. 11 p.

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1995. **Standard Test Method for leaching solid material in a column apparatus: D4874**. Philadelphia. 8 p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992. **NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros sanitários de Resíduos sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro. 7 p.

AZAMBUJA, E.; CANCELIER, D. B.; NANNI, A. S. 2000. **Contaminação de solos por LNAPL**: discussão sobre diagnósticos e remediação. Disponível em: <<http://www.azambuja.com.br/acervo/geosul2000.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2006.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 59, 26 mar. 2004. Seção 1, p. 266.

BERTORELLI, A.; HARALYI, N. 1998. Geologia do Brasil. In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. (Coord.) **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 57-67.

CETESB, COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de diretoria n. 195-2005-E. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acesso em: 28 jun. 2006.

DELGADO, C. W. C. Mecanismos de transporte de metais pesados. Disponível em: <<http://www.geoamb.eng.ufba.br>>. Acesso em: 20. jun. 2006.

DE CASTILHOS Jr., A. B. et al. 2003. Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. In: De Castilhos Jr., A. B. (Org.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para município de pequeno porte**. Florianópolis: PROSAB, p. 19-50.

KORF, E. P. et al. 2007. Capacidade de atenuação do solo de fundo da lagoa de estabilização de lixiviado do aterro sanitário do município de Carazinho/RS. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL E V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 2007, Recife. CD-ROM.

KNOP, A. 2007. **Estudo do comportamento de Liners atacado por ácido sulfúrico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 230p.

LANGE, L. C et al. 2002. Estudo do transporte de contaminantes em meios porosos aplicado a aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. In: Junior, A. B. C. et al. (Org.). **Alternativas para disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades**: coletânea de trabalhos técnicos. Florianópolis: PROSAB, p. 13-17. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/livrocompletotfinal.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2008.

MACHADO, M. E. 2006. **Poluição Ambiental por metais em uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgia e de Materiais – PPGEM) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 141 p.

MACHADO, S. L. et al. 2004. Diagnóstico de contaminação de metais pesados em Santo Amaro – Ba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, **9**(2):140-155.

MENEGHETTI L.; et al. Utilização de Técnicas de Bioremediação para Descontaminação de Solo Contaminado com Óleo Diesel e Biodiesel. In: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, 6., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ABMS, 2007. CD-ROM.

MONCADA, M. P. H. 2004. **Estudo em laboratório de características de colapso e transporte de soluto associadas à infiltração de licor cáustico em um solo laterítico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 219 p.

MAPLINK/TELE ATLAS: Imagem aérea do Google Earth. Google, 2005. Escalas variam.

REPETTO, M. 1995. **Toxicología avanzada**. Madrid: Díaz de Santos, 621 p.

OGA, S. 1996. **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 515 p.

OLIVEIRA, F. J. S.; JUCÁ, J. F. T. 2004. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, **9**(3):211-217.

OLIVEIRA, J. C.; PRIM, E. C. C.; JUNIOR, A. B. C. 2002. Estudo da retenção de poluentes veiculados por lixiviados de aterros sanitários em solos argilosos. In: JUNIOR, A. B. C. et al. (Org.). **Alternativas para disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades: coletânea de trabalhos técnicos**. Florianópolis: PROSAB, p. 13-17. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/livrocompletotofinal.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2008.

ROUSE, J. V.; PYRIH, R. Z. 1993. Geochemistry. In: DANIEL, D. E. (Org.). **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, p. 15-32.

SERAFIM A. C., et al. 2003. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento. In: III FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS – RESPONSABILIDADE SOCIAL E MEIO AMBIENTE, 2003, Rio Claro - SP. p. 6-7.

SHACKELFORD, C. D. 1993. Contaminant transport. In: DANIEL, D. E. (Org.). **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, p. 33-65.

SHARMA, H. D.; REDDY, K. R. 2004. **Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies**. New Jersey: John Wiley & Sons, 992 p.

STRECK, E. V. 2002. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER, 107 p.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. 1998. Disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 343-360.

USEPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1996. **Method 3050B**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2007.

YONG, R. N.; MOHAMED, A. M O.; WARKENTIN, B. P. 1992. **Principles of contaminant transport in soils**. Amsterdam: Elsevier, 327 p.