



## Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos

doi: 10.4136/ambi-agua.1155

Received: 18 Jul 2013; Accepted: 14 Dec 2013

Luiz Ermindo Cavallet<sup>1\*</sup>; Sebastião Garcia de Carvalho<sup>2</sup>;  
Paulo Fortes Neto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Paraná - Paranaguá, PR, Brasil  
Departamento de Ciências Biológicas

<sup>2</sup>Instituto Ambiental do Paraná (IAP) - Paranaguá, PR, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade de Taubaté (UNITAU) – Taubaté, SP, Brasil  
Departamento de Ciências Agrárias

\*Autor correspondente: e-mail: luiz.cavallet@fafipar.br,  
sebastiaoc@iap.pr.gov.br, paulofortes.neto@gmail.com

### RESUMO

O município de Paranaguá-PR descarta diariamente 80 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) sem tratamento apropriado no lixão do Embocuí. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a concentração de arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) na área do lixão e compará-la com os valores de referência para qualidade de solo e água estipulados pela CETESB (2005). Foram realizadas coletas de amostras de rejeito (resíduo orgânico misturado com solo) em 12 pontos do lixão e a 1 m de profundidade, e a coleta de água foi realizada em 3 pontos e a 3 m de profundidade do material depositado na área. A extração dos metais pesados nas amostras do rejeito e da água foi realizada segundo o método USEPA (1998) para a extração e o ICP-OES (Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente) para quantificar o metal. Os resultados das amostras do rejeito apresentaram as seguintes concentrações: (mg kg<sup>-1</sup>): As <10; Cd <1; Cr = 26; Pb = 52 e Hg = 0,2. E nas amostras de água foram determinadas as seguintes concentrações: (µg L<sup>-1</sup>): As <5; Cd <5; Cr = 29 e Pb =10. Os valores de metais pesados nas amostras de rejeito e água estão abaixo dos valores considerados para risco de contaminação na área do lixão.

**Palavras-chave:** aterro sanitário, ions tóxicos, risco de contaminação.

### Heavy metals in the waste and in the water discharge area of municipal solid waste

### ABSTRACT

The county of Paranaguá discards 80 tons of municipal solid waste (MSW) daily in the Embocuí landfill without proper treatment. The present study aimed to evaluate the concentration of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb) and mercury (Hg) in the dump area and to compare it with reference values for soil and water quality stipulated by CETESB (2005). The methodology of the study involved the collection of waste samples (organic waste mixed with soil) from a depth of 1 m deep at 12 points of the dump, and the collection of water samples from a depth of 3 m at 3 points in the deposited waste. Extraction

of heavy metals in the water samples was performed according to the USEPA (1999) method and analysis followed ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry). Analysis of the solid waste samples showed the following concentrations: (mg kg<sup>-1</sup>): As < 10; Cd < 1; Cr = 26; Pb = 52; e Hg = 0.2. The water samples showed the following concentrations: (mg L<sup>-1</sup>): As < 5; Cd < 5; Cr = 29 e Pb = 10. The amounts of heavy metals in samples of tailings and water from the landfill area fall below the values considered to create a risk of contamination.

**Keywords:** landfill, toxic ions, risk contamination.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar dos avanços ocorridos na legislação sobre resíduos sólidos, ainda é comum a existência de cidades de médio e pequeno porte que possuem lixões como único local de descarte de seus resíduos sólidos urbanos (RSU). Segundo levantamento do IBGE (2010), em 2008 foi produzido no território brasileiro aproximadamente 183 mil toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, dos quais 20% foram depositadas em lixões, sendo que 51% dos municípios fazem dessa forma. Esse quadro torna relevante a importância da proteção do solo e da água, pois na maioria dos locais onde, no passado, houve a disposição inadequada de RSU e que, atualmente, se encontram desativados, há sérios passivos ambientais que abrangem desde a contaminação do solo, água e vegetação, até riscos à saúde humana e animal, conforme apontam Santos e Rigotto (2008).

Um dos principais problemas encontrados nessas áreas é o alto teor de metais pesados no solo e na vegetação. Os metais pesados como arsênio (As), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cromo (Cr) estão presentes em diversos tipos de resíduos dispostos em aterros, como lâmpadas, pilhas, baterias, restos de tintas, latas, dentre muitos outros produtos com substâncias tóxicas presentes (Sissino e Moreira, 1996; Hypolito e Ezaki, 2006; Xiaoli et al., 2007; Aniceto et al., 2012).

Vários autores indicam o processo de contaminação de metais pesados com os compartimentos adjacentes às áreas de deposição de resíduos sólidos. Pois com excesso de concentração de metais pesados no material constituinte de um lixão, pode haver a migração desses através do processo de lixiviação. A lixiviação é o processo físico no qual os líquidos presentes nos resíduos sólidos são liberados durante o processo de decomposição e depois migram pelo perfil do solo. Com a infiltração de águas da chuva, esse líquido pode permear as camadas de fundo dos locais de disposição e contaminar as águas subterrâneas. Também pode ser transportado superficialmente para os mananciais próximos e, dessa forma, possibilitar a entrada dos metais na cadeia alimentar e consequente acúmulo e contaminação do fator biótico (Oliveira e Jucá, 2004; Pradeep et al., 2005; Korf et al., 2008). Ainda que possa haver a migração de metais pesados pelo perfil do solo, alguns estudos têm verificado que a concentração de metais pode decrescer com a profundidade do aterro (Sissino e Moreira, 1996; Hypolito e Ezaki, 2006; Marques, 2011). A esse respeito, Machado et al. (2011) estudaram as concentrações dos metais em um lixão controlado e inativo há mais de 30 anos e observaram uma tendência de diminuição decrescente nos teores de Zn, Cu, Pb e Cr nas camadas inferiores, ainda que esses apresentavam-se na camada superficial com concentrações acima dos valores de referência. Segundo Hypolito e Ezaki (2006), a redução dos metais ocorre em função dos seguintes fatores: à retenção dos íons metálicos na massa de lixo misturada com o solo; a adsorção dos metais na partícula do solo e a precipitação dos metais nas formas estáveis. Percebe-se então que a presença de metais pesados em áreas de antigos lixões depende de uma série de fatores tais como: tempo de deposição do resíduo; fase de degradação da matéria orgânica do resíduo; quantidade e composição do material;

condições climáticas e composições mineralógicas do solo (Fontes e Gomes, 2003; Covelo et al., 2007).

Com base no exposto, o presente projeto teve como objetivo avaliar os teores totais de As, Cd, Cr, Hg e Pb no rejeito, e As, Cd, Cr e Pb na água, em uma área localizada no lixão do Bairro do Embocuí em Paranaguá/Pr, a qual, durante 30 anos, recebeu o despejo de RSU.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização da área

O estudo foi realizado entre o período de 2011 e 2012, em uma área localizada no bairro de Embocuí, onde, por mais de 30 anos, foi descartado, a céu aberto, dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente pelo município de Paranaguá/Pr. O local referente ao lixão apresenta uma área total de 62,86 ha e está situado nas coordenadas geográficas de 25° 32' 31" S e 48° 33' 55" O (Figura 1).

### 2.2. Área experimental

A área experimental com 1,02 ha foi demarcada dentro do lixão, em local onde desde 1996 não se tem depositado mais resíduos sólidos urbanos. Para o isolamento da área e evitar o descarte de novos resíduos foi realizada a demarcação de uma faixa de aproximadamente 10 m a partir das bordas do lixão (Figura 1).

O material sólido retirado da área experimental foi definido como rejeito devido à presença de resíduos orgânicos e inorgânicos misturados ao solo.



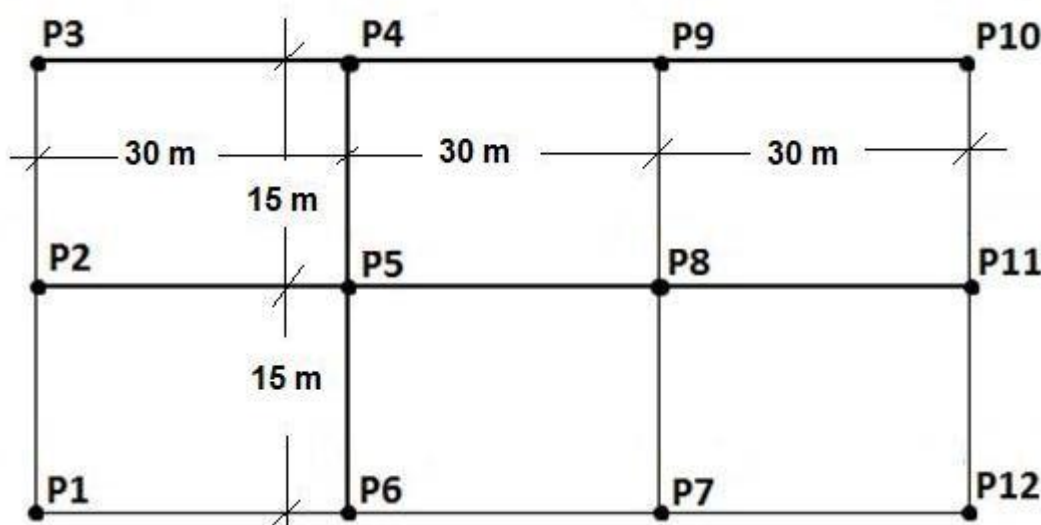
**Figura 1.** Localização do lixão do Embocuí dentro do perímetro urbano do município de Paranaguá-PR e a área de estudo.

### 2.3. Procedimentos de coleta de amostras

Com o auxílio do equipamento de GPS de navegação e uma trena, foram identificados e demarcados 12 pontos de amostragem, e cada ponto teve como distância horizontal 30 m, e distância vertical, 15 m, conforme apresentado na Figura 2.

Para evitar a interferência da água da chuva durante a coleta, os pontos de amostragem foram revestidos, três meses antes, com uma cobertura plástica de polietileno com três metros de diâmetro. Esse procedimento foi adotado para evitar que a água da chuva penetrasse no interior do material amostrado, até a profundidade de três metros.

O procedimento de coleta de amostra do rejeito para cada ponto de amostragem foi realizado com a extração de aproximadamente 1 metro cúbico (1 m de profundidade x 1 m de superfície e 1x1 m de aresta) de rejeito. O material coletado em cada ponto de amostragem foi colocado sob uma lona plástica, ao lado do ponto de coleta. Foi efetuada a retirada de fragmentos grosseiros, tais como, pedaços de madeira, pneus, metais e demais resíduos. Após a retirada dos resíduos, as amostras foram homogêneas e quarteadas conforme os procedimentos descritos na NBR 10.007 (ABNT, 2004). Em seguida, as amostras foram peneiradas em malha de uma polegada, e o material que passou por essa malha foi submetido a novo peneiramento em malha 0,3 polegadas.



**Figura 2.** Distribuição espacial dos pontos de coleta de amostras de rejeitos na área de estudo no lixão do Embocuí no município de Paranaguá-PR.

Cada amostra foi colocada em saco plástico devidamente lacrado e numerado e acondicionada em caixa de isopor, fechadas imediatamente após cada coleta. Esses cuidados visaram preservar as condições naturais da amostra. De cada amostra de rejeito, coletou-se 2 kg de material peneirado, 500 gramas foram encaminhadas para o Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR) para realizar as análises de As, Cd, Cr, Pb e Hg, e 1.500 gramas foram armazenadas sob refrigeração ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ), como contraprova.

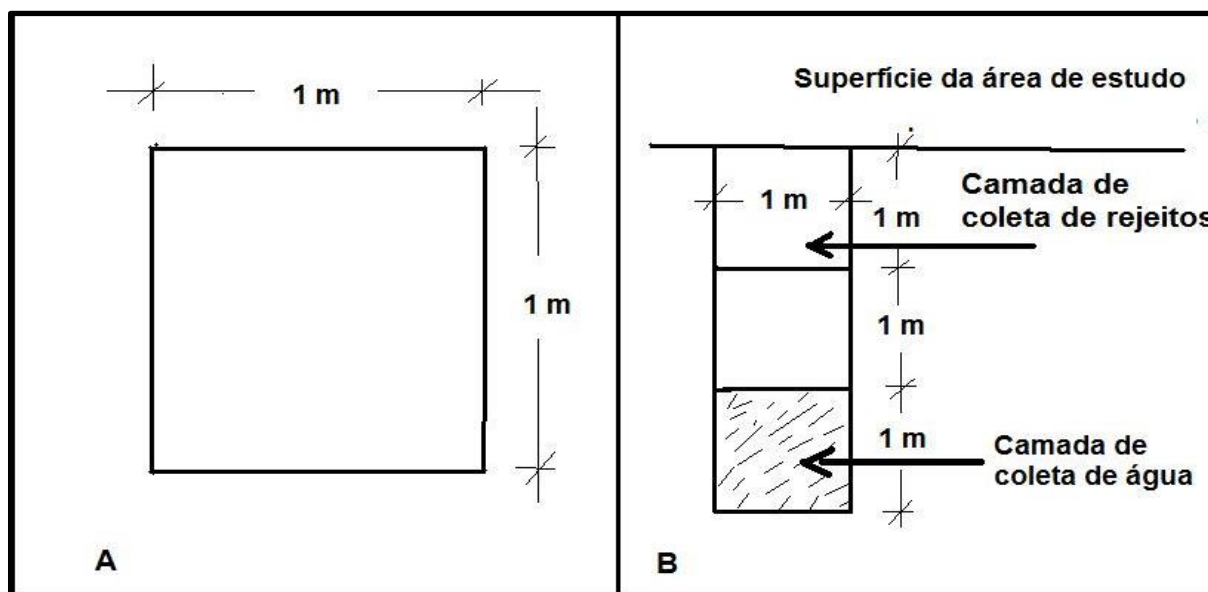
Os pontos P2, P4 e P9 foram selecionados para a coleta de amostras de água. Esses pontos foram escavados até 3,0 m de profundidade, pois, a partir dessa camada, a água retida no interior do rejeito começou a verter e a preencher o espaço aberto pela escavação (Figura 3).

Os pontos escavados foram vedados com lonas plásticas para evitar a entrada de partículas sólidas e água das chuvas. Após 4 dias da abertura da cava e da estabilização da água no seu interior, efetuou-se a coleta das amostras de água. Em cada ponto de amostragem foram coletados 4 frascos, devidamente esterilizados e colocados em caixas térmicas com gelo e encaminhados para o laboratório do Instituto Ambiental do Paraná, em Curitiba (PR).

## 2.4. Metodologias de análise laboratorial

As amostras de rejeito e água foram submetidas à extração por meio da digestão nitroperclórica, e a determinação dos metais pesados foi realizado no extrato resultante da digestão.

As determinações de As, Cd, Cr e Pb foram realizadas nos extratos do rejeito e água submetidos a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado com configuração axial (ICP-OES), e na determinação do Hg, utilizou-se a geração química de vapor acoplado a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado com configuração axial (CVG-ICP OES) (USEPA, 1998; APHA, 2012). Nas amostras de água não foram realizadas a determinação de Hg.



**Figura 3.** Corte longitudinal (A) e vertical (B) do ponto de coleta de amostras de rejeito e água na área de estudo no lixão de Embocuí em Paranaguá, PR.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Teores de metais pesados no rejeito

Os teores de metais pesados determinados nas amostras de rejeitos coletadas a 1 m de profundidade na área do lixão de Embocuí estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que os valores de As e Cd ficaram abaixo do limite de detecção, o Hg apresentou uma variação entre 0,1 a 0,2 mg kg<sup>-1</sup>, o Cr com concentrações entre 6 e 26 mg kg<sup>-1</sup> e o Pb foi o metal que apresentou as maiores concentrações, com valores entre 6 e 52 mg kg<sup>-1</sup>. Segundo Xiaoli et al. (2007) o predomínio de Cr e Pb nessas áreas ocorre porque esses metais estão presentes na maioria dos materiais, tais como plásticos, borracha, restos de tintas, pilhas e baterias que foram despejados nas antigas áreas de lixões.

Na Tabela 1 constata-se que na média o Pb apresentou a maior concentração seguido pelo Cr e Hg, entretanto diferentes resultados têm sido obtidos em estudos sobre a distribuição de metais pesados em áreas de antigos lixões e aterros. Sissino e Moreira (1996) constataram que o Mn, Pb e Zn foram os elementos com maior concentração que Cd, Cr, Co e Ni, Östman et al. (2006) verificaram que o Zn e Cu foram mais elevados que Pb, Ni e Cd, Machado et al. (2011) observaram que o Cu, Zn e Cr foram mais elevados que o Ni, Pb e Cd e Aniceto et al. (2012) determinaram que as concentrações de Zn e Cu foram superiores a de Pb e Cr.

Essa variabilidade entre os tipos de metais pesados predominantes nas áreas utilizadas como depósito de resíduos domiciliares pode estar associada à fase de degradação da matéria orgânica do resíduo, à quantidade e composição do material, às condições climáticas, à composição mineralógicas do solo e à técnica analítica utilizada na determinação dos metais pesados (Fontes e Gomes, 2003; Covelo et al., 2007; Zanella, et al., 2009; Aniceto et al., 2012).

Comparando a concentração de Hg, Pb e Cr, determinada na área com os valores orientadores preconizados para solo natural, observa-se que o Hg apresenta concentração superior ao limite de solo natural em todos os pontos de coleta, o Pb está com valores abaixo apenas nos pontos P2, P6 e P10, e o Cr, com concentração inferior em todos os pontos de coleta (CETESB, 2005).

**Tabela 1.** Valores de metais pesados determinados nas amostras de rejeitos sólidos coletadas em doze pontos de amostragem na área de estudo no lixão do Embocuí, na cidade de Paranaguá/PR.

Parâmetros	As	Cd	Cr	Pb	Hg
Pontos de amostragem	(mg kg <sup>-1</sup> )				
P1	<10	<1	10	20	0,1
P2	<10	<1	6	15	0,2
P3	<10	<1	9	37	0,2
P4	<10	<1	11	24	0,2
P5	<10	<1	17	46	0,1
P6	<10	<1	6	6	<0,1
P7	<10	<1	15	21	0,1
P8	<10	<1	17	44	0,1
P9	<10	<1	26	52	0,2
P10	<10	<1	10	9	0,1
P11	<10	<1	15	26	0,2
P12	<10	<1	22	42	0,2
<b>Média</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;1</b>	<b>13,6</b>	<b>28,5</b>	<b>0,15</b>
<b>Desvio Padrão(σ)</b>	-	-	<b>6,18</b>	<b>15,3</b>	<b>0,05 *</b>

Nota:\*Considera-se o valor de P6 (<0,1) como sendo = 0,1

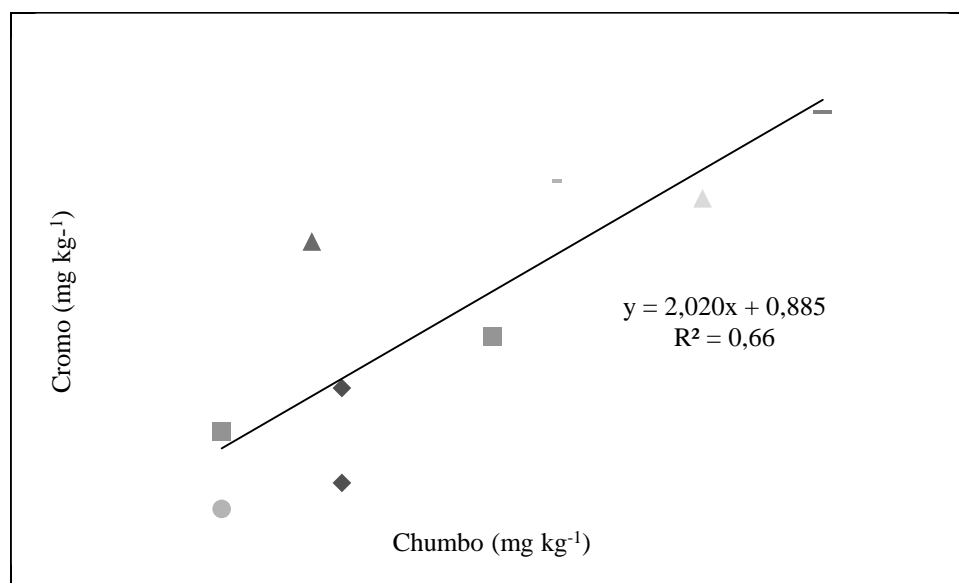
Quanto ao risco de contaminação da área por metais pesados, observa-se na Tabela 1 que os valores de Hg, Cr e Pb estão abaixo dos valores de prevenção estabelecidos pela CETESB (2005), nesse caso, então, a área em estudo não apresenta indícios de contaminação. Porém convém ressaltar que, entre os metais pesados, os teores de Hg estão mais próximo de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> considerado como valor limite de prevenção pela CETESB (2005). De uma maneira geral, os valores de Hg observados no presente estudo estão relativamente acima dos valores verificados por outros autores. Becegato et al. (2010), analisando amostras de solo proveniente de um lixão desativado em Lages/SC, observaram que o Hg variou de 0,02 a 0,07 mg kg<sup>-1</sup>. Marques (2011), em amostras de solo coletadas em três municípios no estado de Minas Gerais, observou que os valores de Hg foram inferiores a 0,1 mg kg<sup>-1</sup>.

Os valores de Cr e Pb observados neste trabalho variaram em faixas semelhantes ou próximas a dos valores relatados por outros autores. Sissino e Moreira (1996), analisando amostras provenientes de rejeitos coletados da área de aterro controlado do Morro do Céu, observaram que o Cr variou de 28,1 a 31,5mg kg<sup>-1</sup>. Hypolito e Ezaki (2006), em amostras coletadas no interior de aterros sanitários, verificaram que os teores de Cr variaram entre 18 a 114 mg kg<sup>-1</sup>, e o Pb, de 22 para 242 mg kg<sup>-1</sup>. Machado et al. (2011), estudando a presença de metais pesados em amostras de rejeitos coletadas na área de um antigo aterro sanitário desativado, constataram que os teores de Cr variaram entre 28 a 386 mg kg<sup>-1</sup>, e o Pb 13 a 277mg kg<sup>-1</sup>. Essa variabilidade de resultados observada entre os diferentes autores pode estar relacionada à forma como os resíduos foram disponibilizados na área, à composição dos resíduos, à precipitação pluviométrica e ao tipo de solo misturado ao rejeito (Andrade, 2005; Santos, 2008).

Quanto à distribuição dos metais na área, verifica-se na Tabela 1 que os teores mais elevados de Cr e Pb foram determinados no ponto 9, e os menores, no ponto 6. Analisando no conjunto os valores dos metais nos demais pontos, observa-se que o Cr apresenta uma tendência de maior concentração nos pontos 7, 8, 9, 10,11 e 12, que estão situados na parte mais baixa da área experimental.

Esse comportamento indica que a concentração do Cr apresentou uma conexão com a topografia do terreno, corroborando os resultados apresentados por Machado et al. (2011), que reportaram uma evidência entre o acúmulo de Zn com a declividade do terreno em um antigo aterro. Por outro lado, essa tendência não foi observada com o Pb e o Hg, devido a menor velocidade de migração desse metal por meio do rejeito depositado na área (Shakelford e Redmond,1995). Ainda em relação ao Hg, foi constatada uma distribuição mais homogênea em todos os pontos, independente da topografia, e uma menor variação nos valores entre os pontos de coleta.

A Figura 4 apresenta a correlação positiva estabelecida entre o Cr e Pb nos pontos de amostragem da área do lixão do Embocuí. Esse comportamento pode ser esperado porque esses metais estão presentes na fabricação de ligas metálicas, na composição de pigmentos de embalagens, na confecção de tecidos e no curtimento do couro que compõem a maioria dos materiais descartados como resíduos domésticos (Damasceno, 1996).



**Figura 4.** Correlação entre a distribuição dos metais cromo e chumbo nos pontos de amostragem no lixão do Embocuí em Paranaguá-PR.

### 3.2 Teor de metais pesados na água

Os teores de As, Cd, Cr e Pb, determinados nas amostras de água coletadas a 3 m de profundidade nos pontos P2, P4 e P9, estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se que os valores de As, Cd e Pb ficaram abaixo do limite de detecção e, apenas, o Cr apresentou valores entre  $26 \mu\text{g L}^{-1}$ , nos pontos P2 e P4, a  $29 \mu\text{g L}^{-1}$ , no ponto P9.

Os baixos teores de metais pesados observados neste trabalho estão de acordo com o relatado por outros autores que, também, encontraram baixa concentração de metais pesados em amostras de água subterrânea, em áreas destinadas ao despejo de resíduos domiciliar (Sissino e Moreira, 1996; Hypolito e Ezaki, 2006; Marques, 2011).

Segundo Hypolito e Ezaki (2006), a redução ocorre devido a retenção dos íons metálicos na massa de resíduos, a adsorção de metais pesados, a partículas do solo e a precipitação de metais nas formas estáveis, em função das condições físico-químicas e químicas, proporcionadas pelo ambiente saturado com água no interior do material depositado no lixão.

**Tabela 2.** Concentração de metais pesados ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) determinados nas amostras de água coletadas a 3,0 m de profundidade nos três pontos de amostragem da área de estudo, no lixão do Embocuí, na cidade de Paranaguá, PR, Brasil.

Parâmetros	As	Cd	Cr	Pb
Pontos de amostragem	( $\mu\text{g L}^{-1}$ )			
P2	<5	< 5	26	< 10
P4	<5	< 5	26	< 10
P9	<5	< 5	29	< 10
Desvio Padrão ( $\sigma$ )	-	-	1,73	-

Com relação ao risco de contaminação das águas subterrâneas com As, Cd, Cr e Pb, nota-se que os valores estão abaixo dos limites estipulados pela CETESB (2005), cujos valores máximos são 10, 5, 50 e  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  para cada elemento, respectivamente. Isso significa que a água subterrânea monitorada em um terço dos pontos amostrados na superfície do solo não apresentou problemas quanto à adequação de padrões de potabilidade de substâncias químicas que representem risco à saúde.

## 4. CONCLUSÃO

As concentrações mais elevadas foram observadas para o Pb e, depois, para o Cr e Hg.

As concentrações de As, Cd, Cr, Pb e Hg determinadas nas amostras do rejeito estão abaixo dos valores definidos como limitantes para classificar a área como contaminada.

O Pb e Hg deverão ser monitorados, pois a concentração desses metais está acima do valor estipulado para solo natural.

As concentrações de As, Cd, Cr e Pb determinados nas amostras do rejeito foram superiores aos valores determinados nas amostras da água. Isso ocorreu devido às reações de retenção e adsorção dos íons metálicos na massa do rejeito.



## 5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR 10.004 – Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ANDRADE, J. C. M. **Fitotransporte de metais pesados em espécies arbóreas e arbustivas em aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- ANICETO, K. C. P.; HORBE, A. M. C. Solos urbanos formados pelo acúmulo de resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 135-148, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100016>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22th ed. Washington DC, 2012.
- BECEGATO, V. A.; WALTER, J. de A.; RAFAELI NETO, S. L.; CABRAL, J. B. P.; MARCON, A. K. et al. Distribuição espacial de elementos radioativos e metais pesados no lixão desativado da cidade de Lages/SC. **Geoambiente**, n. 14, p. 121-135, 2010.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Decisão de diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005**. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo – 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001, e dá outras providências. 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: 30 nov. 2011.
- COVELO, E. F.; VEGA, F.; ANDRADE, M. L. Heavy metal sorption and desorption capacity of soils containing endogenous contaminants. **Journal of Hazardous Material**, n. 143, p. 419-430, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.047>
- DAMASCENO, S. **Remoção de metais pesados em sistemas de tratamento de esgotos sanitários por processo de lodos ativados e por um reator compartimentado anaeróbico**. 1996. 141f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.
- FONTES, M. P. F.; GOMES, P. C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the minerals matrix of tropical soils. **Applied Geochemistry**, n. 18, p. 795-804, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00188-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00188-9)
- HYPOLITO, R.; EZAKI, S. Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP. **Águas Subterrâneas**. São Paulo, v. 20, n. 1, p. 99-114, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico de 2008**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2010.
- KORF, E. P.; MELO, E. F. R. Q.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo – RS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 2, n. 2, p. 43-60, 2008.

- MACHADO, M. E.; MENEZES, J. C. S. dos S.; COSTA, J. F. C. L.; SCHNEIDER, I. A. H. Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos “Aterro Invernadinha”. **Evidência**, Joaçaba, v. 1, n. 2, p. 69-82, 2011.
- MARQUES, R. F. de P. V. **Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais**. 2011. 95f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- OLIVEIRA, J. S.; JUCÁ, J. F. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 211-217, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000300007>
- ÖSTMAN, M.; WAHLBERG, O.; AGREN, S.; MARTENSSON, A. Metal and organic matter contents in a combined household and industrial landfill. **Waste Management**, v. 26, n.1, p. 29-40, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.012>
- PRADEEP, J.; HWIDONG, K.; TOWNSEND, T. G. Heavy metal content in soil reclaimed from a municipal solid waste landfill. **Waste Management**, v. 25, p. 25-35, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2004.08.009>
- SANTOS, A. A. **Qualidade de águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT**. 2008. 111p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Física, Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.
- SANTOS, G. O.; RIGOTTO, R. M. Possíveis impactos sobre o ambiente e a saúde humana decorrentes dos lixões inativos de Fortaleza (CE). **Revista Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 45-58, 2008.
- SHACKELFORD C. D.; REDMOND, P. L. Solute breakthrough curves for processed kaolin at low-flow rates. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 121, n. 1, p. 17-32, 1995. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:1\(17\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:1(17))
- SISSINO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, n. 12, p. 515-523, 1996.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Method 3501A**: microwave assisted acid digestion of sediment, sludges, soils and oils. Washington, 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/3501A.pdf> . Acesso em: 2 jun. 2010.
- XIAOLI, C.; SHIMAOKA, T.; XIANYAN, C.; QIANG, G.; YOUCAI, Z. Characteristics and mobility of heavy metals in an MSW landfill: implications in risk assessment and reclamation. **Journal Hazard Materials**, v. 144, n. 1-2, p. 485-491, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.056>
- ZANELLO, S.; MELO, V. de F.; WOWK, G. I. T. H. Mineralogia e teores de cromo, níquel, cobre, zinco e chumbo nos solos no entorno do aterro sanitário da Caximba em Curitiba/PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 51-60, 2009.