



Capacidade máxima de adsorção de Cd, Cu, Pb e Zn em resíduos da construção civil

(doi:10.4136/ambi-agua.141)

Débora Astoni Moreira¹; Mauro Aparecido Martinez²; José Antonio Rodrigues de Souza²; César Reis²; Efraim Lázaro Reis²; Flávia Mariani Barros³

¹Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG

E-mail: deboraastoni@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Viçosa - UFV

E-mail: mmauro@ufv.br; jarstec@yahoo.com.br; cesar@ufv.br; efraim@ufv.br

³Universidade do Sudoeste da Bahia - UESB

E-mail: mariamariani@yahoo.com.br

RESUMO

A alta toxicidade e o caráter cumulativo dos metais pesados têm sido motivos de grande preocupação mundial, proporcionando aumento significativo de trabalhos que objetivem o desenvolvimento de tecnologias para remoção dessas substâncias potencialmente nocivas ao meio ambiente. Com o objetivo de estudar a capacidade de remoção de metais pesados do percolado de resíduo sólido urbano recém-coletado (RSU_Fresco) pelo resíduo da construção civil (RCC), realizaram-se ensaios de adsorção de metais. Foram utilizados RCC em três frações granulométricas (0,5 a 1; 2 a 4 e 4 a 7,5 mm) e de percolado contendo Cu, Cd, Pb e Zn em concentrações que variaram de 0,046 a 150; 0,146 a 200; 0,135 a 200 e 17,2 a 9000 mg L⁻¹, respectivamente. De acordo como os resultados, concluiu-se que a capacidade máxima de adsorção de metais no RCC apresentou, nas frações granulométricas de 2 a 4 mm e 4 a 7,5 mm, a sequência Zn> Pb>Cu>Cd e, na fração granulométrica de 0,5 a 1 mm, a Zn>Cu>Pb>Cd.

Palavras-chave: metais pesados; isoterma de Langmuir; chorume.

Maximum adsorption capacity of Cd, Cu, Pb and Zn of the percolated of landfill in build demolition residue

ABSTRACT

The high toxicity and the cumulative character of heavy metals have been of great concern worldwide, providing a significant increase in the number of studies that aim to develop technologies to remove these potentially noxious substances in the environment. Aiming to study the capacity of the building demolition residue (BDR) in removing heavy metals from leached of newly collected solid residue, analyses of metals adsorption were carried out. BDR was used in three granulation fractions (0.5 to 1; 2 to 4 and 4 to 7.5 mm) and leachate containing Cu, Cd, Pb and Zn in concentrations ranging from 0.046 to 150, from 0.146 to 200, from 0.135 to 200 and from 17.2 to 9000 mg L⁻¹, respectively. The results allowed to conclude that BDR in the 2 - 4 mm and 4 - 7.5 mm granulation fractions presented the following sequence for the maximum retention capacity: Zn>Pb>Cu>Cd; but for BDR in the 0.5 - 1 mm granulation the sequence was Zn>Cu>Pb>Cd.

Keywords: heavy metals; Langmuir isotherm; landfill leachate.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as alternativas tecnológicas para disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), o aterro sanitário ainda é a técnica mais utilizada, pois, apresenta menor custo para comunidades com poucos recursos financeiros e humanos (D'Almeida e Vilhena, 2000). Entretanto, a disposição final do percolado apresenta-se como um dos principais problemas ambientais dos aterros, em virtude das altas concentrações de matéria orgânica e de metais pesados nele contidos, podendo resultar na contaminação do solo e da água.

A recirculação em células de RSU tem sido apontada como técnica de grande viabilidade no tratamento de percolado, ocorrendo, nesse caso, rápido declínio no potencial poluidor do líquido, além de acelerar a estabilização do resíduo sólido urbano aterrado. É uma técnica que se adapta às condições ambientais do Brasil, com temperatura, ventos e irradiação solar que favorecem a evaporação da água contida no percolado.

Esse tipo de tratamento está associado ao retorno do percolado para o interior do aterro, feito, em geral, por meio de processo de aplicação por aspersão (Silva, 2002). No processo, ocorre distribuição da água, matéria orgânica e micro-organismos ao longo das células de aterro, o que acelera a decomposição dos resíduos ali depositados (San e Onay, 2001; Swati e Joseph, 2008). O volume de percolado também é reduzido, principalmente devido às perdas por evaporação durante o processo de recirculação (Morais et al., 2006).

A redução dos componentes orgânicos e inorgânicos (como metais pesados) presentes no percolado durante o processo de recirculação se dá em razão da ocorrência de processos de adsorção, precipitação e quelação/complexação, que ocorrem quando há contato do líquido com o material aterrado (Carvalho, 2005; Chan et al., 2002). Todavia, segundo Jucá (2002), a recirculação de percolado só deve ser aplicada quando se monitora o conteúdo de água ou o grau de saturação do lixo, pois, além de elevar seu peso específico, pode provocar inibição do processo de biodegradação.

A presença de camada de resíduo da construção civil (RCC) na base das pilhas de RSU, em aterros sanitários, pode funcionar como barreira química para metais pesados presentes no percolado (Sousa et al. 2002; Carvalho et al., 2006). Por essa razão, pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de conhecer a capacidade do RSU estabilizado e RCC em remover metais pesados do percolado de aterro sanitário (Carvalho, 2005 e Gutierrez, 2006).

Os resíduos RCC são constituídos, segundo Angulo et al. (2003), em cerca de 90% (massa/massa) por frações de natureza mineral (concreto, argamassa, rocha, solo e cerâmicas). Lima (1999), ao analisar a constituição química do RCC, concluiu que os compostos de maior abundância são SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, NaOH , KOH , TiO_2 , P_2O_5 e CaCO_3 . Sabe-se que o produto que contém como “princípio ativo” óxidos, hidróxidos, carbonatos ou silicatos de cálcio e/ou magnésio pode ser utilizado na correção de acidez (Amaral e Anghinoni, 2001), sendo, portanto, útil na correção da acidez de solo ou de líquidos.

Em amostras de solo coletadas abaixo das células-base do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, onde o RSU foi depositado sobre uma camada de RCC, Souza (1998) encontrou menores concentrações de metais pesados do que nas amostras de solo coletadas em áreas que não receberam esse resíduo. Esse fato foi atribuído ao pH (9,0) do RCC o que o torna capaz de reter grande quantidade de metais. O autor recomendou o uso do RCC como base de pilhas de RSU, podendo, inclusive, substituir a calagem, prática recomendável na criação de barreira química para contaminantes em aterro sanitário.

A interação entre os diferentes componentes da fração sólida dos aterros sanitários e os metais pesados tem sido bastante estudada, porém, a capacidade de retenção dessas substâncias contidas no percolado gerado em aterros sanitários e o RCC são pouco conhecidas. Assim, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a capacidade do resíduo da construção civil em remover metais pesados no percolado produzido em RSU recém-coletado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solo e Resíduos Sólidos, do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. O RCC foi coletado em área de disposição de entulhos, da obra de construção do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

O RCC é composto por uma mistura de brita, areia, concreto, argamassa, tijolos cerâmicos e blocos de concreto, restos de madeira, caixas de papelão, ferro e plástico. O material foi triturado, peneirado e separado em três frações granulométricas (0,5 a 1, 2 a 4 e 4 a 7,5 mm).

O percolado de resíduo sólido urbano recém coletado (RSU-Fresco) foi produzido, utilizando-se uma caixa de fibra de vidro, com capacidade de 10.000 L, a qual foi preenchida com RSU, coletado na cidade de Viçosa, MG. Os resíduos foram despejados no interior do reservatório e compactados, manualmente, com a ajuda de soquete de madeira. No fundo do reservatório foram instalados tubos de drenagem, cobertos por telas plásticas de 1,0 cm² de malha, os quais eram conectados a tubulações de PVC, que conduzia o percolado para um reservatório de 1.000 L. Para garantir disponibilidade de percolado em períodos não chuvosos, periodicamente era aplicado água na parte superior da caixa.

Ensaio de adsorção foram realizados para analisar o comportamento adsorptivo dos metais (Cu, Cd, Zn e Pb) nas diferentes frações granulométricas avaliadas. Em tubos de centrífuga de 50 mL, foram pesadas 5 g de amostras, adicionando-se a cada um dos tubos, 40 mL de percolado contendo Cd, Cu, Pb e Zn, em concentrações que variaram de 0,046 a 150; 0,146 a 200; 0,135 a 200 e 17,2 a 9000 mg L⁻¹ para o Cu, Cd, Pb e Zn, respectivamente. A mistura material sólido-solução foi agitada por 18 h sob temperatura ambiente, em agitador horizontal, procedendo-se, posteriormente, a separação do sobrenadante por centrifugação, a 3500 rpm, por 5 minutos. No sobrenadante filtrado, foram determinadas as concentrações de Cu, Cd, Zn e Pb, por espectrofotometria de absorção atômica. A quantidade dos metais adsorvida pelo material orgânico foi considerada como sendo a diferença entre as concentrações iniciais e finais do mesmo metal na solução de equilíbrio (Gutierrez, 2006).

Para calcular a capacidade máxima de adsorção de cada metal, foi utilizada a equação de Langmuir (Equação 1).

$$S = \frac{S_m \cdot K \cdot C_{eq}}{1 + K \cdot C_{eq}} \quad [1]$$

em que:

C_{eq} = concentração do íon na solução (mg L⁻¹);

S = quantidade adsorvida (mg g⁻¹);

S_m = adsorção máxima (mg g⁻¹); e

K = coeficiente relacionado à energia de ligação (L mg⁻¹).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Isotermas de Langmuir (Equação 1) ajustadas aos dados experimentais de adsorção dos metais Cd, Cu, Pb e Zn, estão apresentadas nas Figuras 1A, 1B, 1C, e seus parâmetros e coeficiente de determinação (R^2) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros da equação de Langmuir para adsorção de Cu, Pb, Cd e Zn no RCC, nas três frações granulométricas avaliadas e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Metais	Frações granulométricas								
	0,5 a 1 mm			2 a 4 mm			4 a 7,5 mm		
	K	S_m	R^2	K	S_m	R^2	K	S_m	R^2
Cu	0,027	0,322	0,97	0,068	0,158	0,97	0,036	0,159	0,97
Pb	0,108	0,264	0,99	0,082	0,183	0,98	0,080	0,174	0,97
Cd	0,138	0,027	0,98	0,34	0,008	0,98	0,350	0,008	0,98
Zn	$1,96 \times 10^{-3}$	8,718	0,98	$2,39 \times 10^{-3}$	6,285	0,96	$2,36 \times 10^{-3}$	6,271	0,95

K= coeficiente relacionado com a energia de ligação ($L \text{ mg}^{-1}$) e S_m = capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1}).

Os coeficientes de determinação (R^2), obtidos nos ajustes das equações de Langmuir, variaram de 0,95 a 0,98, indicando excelente ajustamento aos dados e descrevendo bem o fenômeno de sorção do Cd, Cu, Pb e Zn no RCC. A sorção apresentou relação direta com a superfície de contato, ocorrendo maior sorção nas menores frações granulométricas, as quais apresentam maiores superfícies de contato (Figura 1). A sorção, por ser um fenômeno de superfície, é dependente da área superficial do adsorvente. O processo de pulverização da amostra fez com que aumentasse a superfície específica do material, o que proporcionou maior exposição dos sítios ativos, facilitando a reação.

Moreira (2004), avaliando remoção de Cu^{2+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} de efluentes da galvanoplastia por vermicomposto de esterco bovino, observou acréscimos de 18, 26 e 13% na adsorção desses metais, respectivamente, quando o tamanho da partícula mudou de 2 para 0,21 mm. Matos e Arruda (2003) também obtiveram acréscimo de 37, 36, 32 e 5% na adsorção de Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} e Pb^{2+} , respectivamente, quando o tamanho da partícula de vermicomposto mudou de 600 para 150 μm .

Pode-se observar, na Tabela 1, que a capacidade máxima de adsorção (S_m), para a fração granulométrica de 0,5 a 1 mm, apresentou a sequência $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Já, nas frações 2 a 4 mm e 4 a 7,5 mm, ocorreu inversão entre as posições do Pb e Cu. Em relação aos valores do coeficiente relacionado com a energia de ligação (K), nas três frações granulométricas, a sequência foi $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn}$.

Carvalho (2005) verificou que a presença de RCC em sistema com recirculação de percolado de RSU diminui o potencial poluidor, reduzindo concentrações de metais e matéria orgânica. Os estudos efetuados por Gutierrez (2006) confirmaram que a camada de RCC foi importante para a melhoria geral da qualidade do percolado recirculado em colunas de RSU. Souza (1998) encontrou menores concentrações de metais pesados em amostras de solo coletadas abaixo das células-base do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, onde o RSU foi depositado sobre uma camada de RCC, do que nas amostras de solo coletadas em áreas que não receberam esse resíduo.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram os apresentados na literatura (Gutierrez, 2006; Carvalho, 2005; Souza, 1998) de que o RCC proporciona eficiente remoção de metais dos percolados, podendo ser utilizado na base de aterro sanitário, sendo esta técnica importante, principalmente quando do início de sua operação, ocasião em que ainda não há resíduo orgânico suficientemente estabilizado para receber o percolado de RSU Fresco. A presença de camada de RCC na base dos aterros sanitários pode funcionar como barreira “química” para metais pesados presentes no percolado.

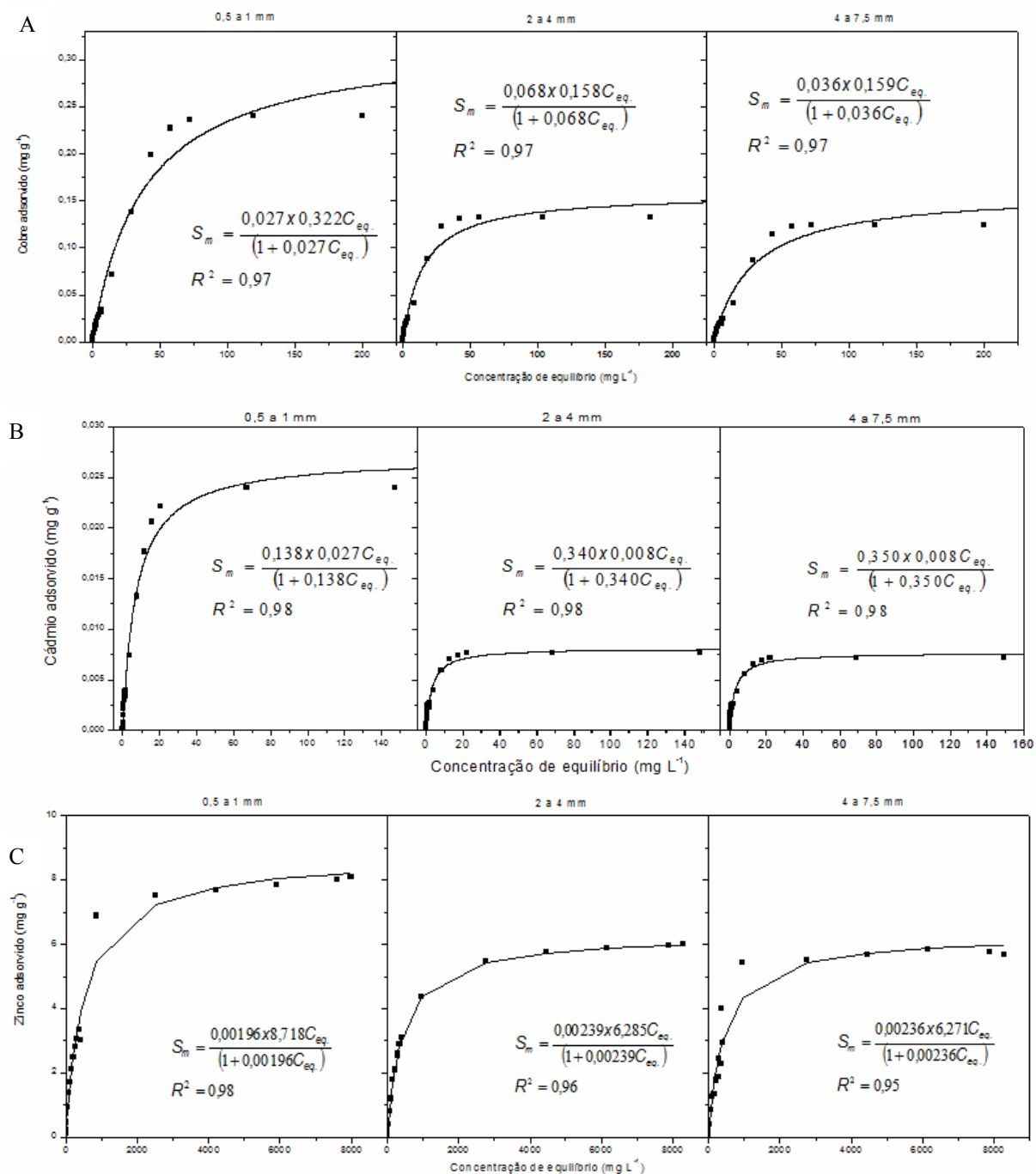


Figura 1. Adsorção de íons Cu²⁺(A), Cd²⁺ (B) e Zn²⁺ (C) no RCC, nas frações granulométricas 0,5 a 1; 2 a 4 e 4 a 7,5 mm.

4. CONCLUSÕES

Para as condições do experimento e de acordo com os resultados, concluiu-se que:

- A capacidade máxima de adsorção de metais no resíduo da construção civil (RCC) apresentou, nas frações granulométricas de 2 a 4 mm e 4 a 7,5 mm, a sequência Zn>Pb>Cu>Cd e, na fração granulométrica de 0,5 a 1 mm, a sequência Zn>Cu>Pb>Cd;
- O coeficiente relacionado com a energia de ligação (K), apresentou nas três frações granulométricas, a sequência Cd>Pb>Cu>Zn.
- O aumento da granulometria do RCC proporcionou obtenção de menores valores de capacidade máxima de adsorção dos metais Zn, Pb, Cu e Cd.

5. REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- ANGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V.; ULSEN, C. Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: materiais reciclados e suas aplicações, 6., São Paulo, 2003. IBRACON 2003. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/metodologia%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20ANGULO%20JOHN%20KAHN%20ULSEN.PDF>>. Acesso: Ago. 2010.
- CARVALHO, A. L.; MATOS, A. T.; HAMAKAWA, P. J.; AZEVEDO, R. F. Produção de percolado por resíduos sólidos urbanos de diferentes idades, na presença de resíduos da construção civil e sob recirculação. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 2, p. 131-138, 2006.
- CARVALHO, A. L. **Efeitos da recirculação do percolado sobre a qualidade do efluente de lixo doméstico de diferentes idades**. 2005. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- CHAN, G. Y. S.; CHU, L. M.; WONG, M. H. Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment. **Environmental Pollution**, v. 118, p. 393-399, 2002.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- GUTIERREZ, K. G. **Remoção de metais pesados de percolado submetido à recirculação em células de resíduo sólido urbano**. 2006. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.
- JUCÁ, J. F. T. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Braga, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/destina10.pdf>>. Acesso: Ago. 2010.
- LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 204f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- MATOS, G. D.; ARRUDA, M. A. Z. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. **Process Biochemistry**, v. 39, p. 81-88, 2003.
- MORAIS, J. L.; SIRTORI, C.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 20-23, 2006.
- MOREIRA, D. A. **Adsorção de cobre (II), níquel (II) e zinco (II) de efluentes de galvanoplastia por vermicomposto**. 2004. 69f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- SAN, I.; ONAY, T. T. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. **Journal of Hazardous Materials**. v. B87, p. 259-271, 2001.

MOREIRA, D. A.; MARTINEZ, M. A.; SOUZA, J. A. R.; REIS, C.; REIS, E. L.; BARROS, F. M. Capacidade máxima de adsorção de Cd, Cu, Pb e Zn em resíduos da construção civil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 112-118, 2010. ([doi:10.4136/ambi-agua.141](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.141))

SILVA, A. C. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto tratado**. 2002. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SOUSA, H. A.; ROESER, H. M. P.; MATOS, A. T. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte –MG. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, p. 291-300, 2002.

SOUZA, H. A. **Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-040, da prefeitura municipal de Belo Horizonte (MG)**. 1998. 147f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1998.

SWATI, M.; JOSEPH, K. Settlement analysis of fresh and partially stabilised municipal solid waste in simulated controlled dumps and bioreactor landfills. **Waste Management**, v. 28, p. 1355–1363, 2008.