



AVALIAÇÃO DE METAIS PESADOS EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLO PROVENIENTE DO ATERRO SANITÁRIO DE ITUIUTABA-MG VIA ESPECTRÔMETRO DE FLUORECÊNCIA DE RAIOS X PORTÁTIL

Izamara S. S. Braz¹ (G); Gabriel G. P. Santos² (G); Alexandro N. Colim¹ (PG); Douglas S. Freitas² (PQ); Henrique A. Machado² (PQ); Eveline S. Costa^{1*} (PQ);

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Ituiutaba, Minas Gerais

² Universidade do Estado de Minas Gerais, Departamento de Ciências Agrárias e Naturais, Ituiutaba, Minas Gerais

eveline.costa@uemg.br

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos pode causar doenças degenerativas, cardiovasculares e contaminação ambiental. Este estudo investigou a presença de elementos potencialmente tóxicos (Cd, Pb, Cr, Hg, Mn, Sb, Cu, Ni e Zn) no solo do aterro sanitário de Ituiutaba-MG, utilizando Espectrometria de Fluorescência de Raios-X Portátil (PXRF). Foram coletadas amostras superficiais (11 pontos no aterro e 4 externos) em diferentes profundidades (4 no aterro e 2 externos) e seus resultados comparados com os limites da CONAMA 420/2009. Na porção superficial, a maioria dos metais apresentou concentrações abaixo dos Valores de Prevenção (VP), exceto Hg. Em profundidade, Cu, Cr e Ni excederam os VP e Sb, Cd e Hg apresentaram valores abaixo do limite de detecção do equipamento. O PXRF mostrou ser uma ferramenta eficiente para análises rápidas e *in situ*, auxiliando no monitoramento ambiental de áreas contaminadas.

Palavras-chave: monitoramento ambiental; aterro sanitário; metais pesados;

Introdução

A gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) representa um risco significativo à saúde pública e ao meio ambiente, podendo desencadear doenças degenerativas, cardiovasculares e contaminação de solos e aquíferos (1). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, define critérios para disposição ambientalmente adequada, enfatizando a importância do monitoramento em áreas como aterros sanitários (2). Apesar dos avanços regulatórios, mais de 1.500 lixões ainda operam no Brasil sem infraestrutura apropriada, contribuindo para a poluição por chorume e metais pesados (3-4). O chorume, líquido gerado pela decomposição de RSU, contém substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas, incluindo metais como Cd, Pb e Hg (5). Sua infiltração no solo pode atingir aquíferos, dependendo de características edáficas como pH e teor de matéria orgânica (6). A Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelece valores de referência (VRQ), prevenção (VP) e investigação (VI) para metais pesados, norteados ações de remediação (7). Para análise desses contaminantes, técnicas como espectrometria de absorção atômica (FAAS) e fluorescência de raios-X portátil (PXRF) são comumente empregadas (8-9). O PXRF destaca-se por permitir análises *in situ* rápidas e precisas, seguindo o método USEPA 6200 (8). Neste estudo, empregou-se a técnica de PXRF para avaliar a presença de elementos potencialmente tóxicos no solo do aterro sanitário de Ituiutaba-MG. Foram analisadas amostras superficiais e em diferentes profundidades, visando identificar possíveis contaminações por Cd, Pb, Cr, Hg, Mn, Sb, Cu, Ni e Zn, com base nos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Experimental

As análises foram conduzidas na Universidade do Estado de Minas Gerais, unidade Ituiutaba, no Laboratório de Biomateriais e Produtos Naturais (LBPN) em parceria com o Laboratório de Solos (Minas Solos). As amostras foram coletadas no aterro sanitário municipal (-18°56'54"S de latitude e -49°28'55"W de longitude) e em uma área de preservação permanente (APP) localizada fora do perímetro do aterro (-18°57'2,796"S de latitude e -49°29'25,53"W de longitude) utilizada como área de controle.

Amostragem exploratória superficial

O perímetro do aterro sanitário foi subdividido em três áreas de estudo (Área 1, 2 e 3), definidas com base na topografia e declividade do terreno, considerando a existência de uma lagoa de captação de chorume situada abaixo de duas células de disposição de RSU. A coleta das amostras superficiais (até 20 cm de profundidade) foi realizada com trado de rosca, em padrão zigue-zague. Foram coletadas 8 amostras no total: quatro nas Áreas 1, 2 e 3, e quatro na área controle. A análise dos elementos presentes foi realizada utilizando um espectrômetro portátil de fluorescência de raios X (TRACER 5G, Bruker®).

Amostragem exploratória em profundidade

Com o auxílio de uma retroescavadeira, foram abertas uma trincheira nas Áreas 1 e 3 e duas trincheiras na Área 2. O número de amostras extraídas foi determinado de acordo com a profundidade de cada trincheira, seguindo os procedimentos de coleta estabelecidos pela NBR 9604. Na Área de Controle, duas amostras representativas foram extraídas com o uso de trado de rosca, nas profundidades de 40 cm e 60 cm.



Resultados e Discussão

Para avaliar a qualidade do solo nas áreas amostradas, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos com valores de referência (Tabela 1) definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, complementada pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, as quais estabelecem valores limites para substâncias químicas em função da toxicidade e do uso do solo.

Tabela 1. Valores orientadores CONAMA 420/2009.

Substâncias	Valores de solo (mg.Kg ⁻¹ do peso seco)		
	VRQ*	VP*	VI*
Antimônio (Sb)	0,5	2,0	25,0
Cádmio (Cd)	< 0,4	1,30	20,0
Chumbo (Pb)	19,5	72,0	900
Cobre (Cu)	49,0	60,0	600
Cromo (Cr)	75,0	75,0	400
Manganês (Mn)	-	-	-
Mercúrio (Hg)	0,05	0,5	70,0
Níquel (Ni)	21,5	30,0	130
Zinco (Zn)	46,5	300	2000

* VRQ - Valores de Referência de Qualidade; ** VP - Valor de prevenção; *** VI - Valor de Investigação Industrial.

A análise exploratória superficial por PXRF (Tabela 2) revelou que a maioria dos elementos analisados apresentou concentrações abaixo dos Valores de Prevenção (VP), conforme os parâmetros da Resolução CONAMA nº 420/2009. No entanto, nas Áreas 1 e 2, o mercúrio (Hg) excedeu o VP, ainda que se mantivesse abaixo do Valor de Investigação (VI), indicando um potencial risco ambiental e reforçando a necessidade de monitoramento contínuo da área, dada a alta toxicidade e mobilidade do Hg no ambiente. Na Área 3, nenhuma das substâncias ultrapassou os valores de referência, sugerindo menor influência de processos de lixiviação ou acúmulo de contaminantes nesta porção do aterro. A ausência de detecção de Cd, Sb e (Pb) em algumas áreas pode estar relacionada às limitações analíticas do PXRF, cujos limites de detecção são mais elevados para elementos que ocorrem em baixas concentrações no solo. Essas limitações são influenciadas por fatores como a composição da matriz do solo, granulometria e teor de umidade, que podem interferir na resposta espectral do equipamento.

Tabela 2. Resultado da amostragem exploratória de superfície.

Substâncias	Valores de solo (mg.Kg ⁻¹ do peso seco)			
	Área 1	Área 2	Área 3	Controle
Antimônio (Sb)	4,5	< LOD	< LOD	< LOD
Cádmio (Cd)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Chumbo (Pb)	1,8	< LOD	< LOD	16,0
Cobre (Cu)	9,7	5,8	7,5	91,3
Cromo (Cr)	15,9	18,3	12,7	419,7
Manganês (Mn)	415,0	397,3	1157,7	356,2
Mercúrio (Hg)	8,4	0,8	< LOD	< LOD
Níquel (Ni)	4,0	1,7	2,6	77,5
Zinco (Zn)	17,6	14,7	16,3	83,7

* Valor médio das análises individuais por área; ** Valor médio das análises individuais de 4 pontos na área controle; LOD (Limite de detecção do aparelho).

Na análise em profundidade (Tabela 3), Cu e Cr apresentaram concentrações superiores aos VP, embora ainda abaixo dos VI, o que pode indicar mobilização vertical desses metais no perfil do solo. Os níveis de Pb e Zn permaneceram abaixo dos valores críticos, enquanto Cd, Sb e Hg novamente não foram detectados, reforçando a necessidade de análises complementares com técnicas de maior

sensibilidade, como a espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua (HR-CS AAS).

Tabela 3. Resultado da amostragem exploratória em profundidade

Substâncias	Valores de solo (mg.Kg ⁻¹ do peso seco)				
	T1*	T2*	T3*	T4*	Controle
Antimônio (Sb)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Cádmio (Cd)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Chumbo (Pb)	24,0	25,0	26,0	26,0	26,0
Cobre (Cu)	84,0	68,0	93,0	87,0	102,5
Cromo (Cr)	237,0	184,0	298,0	194,0	406,5
Manganês (Mn)	1157,0	1244,0	1333,0	1278,0	1401,5
Mercúrio (Hg)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Níquel (Ni)	28,0	26,0	49,0	26,0	40,5
Zinco (Zn)	154,0	166,0	156,0	167,0	171,0

* Valor das amostras em profundidade, trincheiras (T1, T2, T3 e T4) dentro do aterro sanitário; ** Valor médio das análises duas amostras na área controle; LOD (Limite de Detecção).

Destaca-se que a concentração de níquel (Ni) na Trincheira 3 ultrapassou o VP, embora tenha permanecido abaixo do VI. Essa trincheira encontra-se localizada imediatamente abaixo da antiga lagoa de captação de chorume das células de recebimento de RSU. De acordo com registros da gestão do aterro, essa estrutura frequentemente transbordava durante o período chuvoso (outubro a março), em razão do excesso de água pluvial, favorecendo a infiltração de contaminantes no solo.

Conclusões

A PXRF mostrou-se eficiente na triagem preliminar de áreas potencialmente contaminadas por metais pesados, no entanto, suas limitações para elementos em concentrações traço exige complementação por métodos mais sensíveis. No aterro sanitário de Ituiutaba/MG, Cr, Cu, Hg e Ni apresentaram níveis acima dos Valores de Prevenção (VP) da Resolução CONAMA 420/2009, especialmente na região localizada abaixo da antiga lagoa de captação de chorume. Apesar disso, os níveis permaneceram abaixo dos Valores de Investigação (VI), enquadrando essas áreas na Classe 3, que exige atenção e monitoramento, mas ainda não configura risco iminente à saúde ou ao meio ambiente.

Agradecimentos

UEMG – Ituiutaba; FAPEMIG editais 09/2022 e 09/2024.

Referências

- Goldberg, Mark S. et al. *Archives of Environmental Health: An International Journal*. 1999, 54 (4), 291-296.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Disponível em: <[L12305](#)> Acesso 10 jan 2025.
- SNIS. Disponível em: <[SNIS — Ministério das Cidades](#)> Acesso 10 jan 2025.
- ABREMA. Disponível em: <[Panorama_2023_P1.pdf](#)> Acesso 10 jan 2025.
- Celete, M. Smidt, et al. *Cadernos de Saúde Pública*. 2007, 23 (4), 939-947.
- T. S. Oliveira; L. M. Costa, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2024, 28, 785-796.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <[L12651](#)> Acesso 10 jan 2025.
- U.S. EPA 6200. Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for the Determination of Elemental Concentrations in Soil and Sediment. US Environmental Protection Agency, Method 6200, 1, 1–32. 2007.
- D. C. Weindorf; N. Bakr; Y. Zhu. *Advances in agronomy*, 2014, 128, 1-45.