

## ***Contaminação ambiental por metais pesados provenientes do descarte irregular de resíduos sólidos urbanos***

O aumento da população acarreta a expansão social e econômica de uma região, mas também ocasiona consequências prejudiciais ao meio ambiente, dentre elas o aumento da geração de resíduos sólidos. O presente trabalho tem como objetivo analisar uma possível contaminação do solo do antigo lixão do município de Viçosa – Alagoas por metais pesados devido à disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos por meio de análises laboratoriais físico-químicas e de metais pesados. A pesquisa foi realizada na antiga área do lixão pertencente ao município de Viçosa, localizado na Zona da Mata do Estado de Alagoas, sendo coletadas 10 amostras de solo para análises físicas e químicas do solo e 05 amostras para determinação dos metais pesados, como também a coleta de amostras de água para análises físico-químicas da água. Foram encontrados os seguintes metais pesados na área do antigo lixão: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). O ferro (Fe), cromo (Cr) e manganês (Mn), configurando variáveis que mais contribuíram para a formação de grupos distintos ou para determinação da variabilidade entre as áreas estudadas. O cádmio (Cd) foi o único metal pesado que teores acima dos níveis permitidos pela resolução 420/2009 do CONAMA. No córrego próximo à área do lixão foram encontrados valores de metais Fe, Mn, Zn, Cd, Cu e Cr com níveis de tolerância aceitáveis para utilização da água de acordo com a Resolução do CONAMA 20/86 com exceção do elemento Mn, que apresentou valores acima do limite estabelecido pela Resolução do CONAMA 20/86 e também os limites preconizados pelo Ministério da Saúde para potabilidade da água.

**Palavras-chave:** Degradação ambiental; Contaminação do solo; Poluição.

## ***Environmental contamination by metals from irregular disposal of solid urban waste***

The increase in population leads to the social and economic expansion of a region, but it also causes harmful consequences to the environment, among them the increase in the generation of solid waste. The present work aims to analyze a possible contamination of the soil of the old garbage dump in the municipality of Viçosa - Alagoas by heavy metals due to the inadequate disposal of solid urban waste through physical-chemical and heavy metal laboratory analyzes. The research was carried out in the old landfill area belonging to the municipality of Viçosa, located in the Zona da Mata of the State of Alagoas, where 10 soil samples were collected for physical and chemical analysis of the soil and 05 samples for determining heavy metals, as well collecting water samples for physical-chemical analysis of the water. The following heavy metals were found in the area of the old dump: cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). Cr and manganese (Mn), configuring variables that most contributed to the formation of distinct groups or to determine the variability between the areas studied. Cadmium (Cd) was the only heavy metal that contents above the levels allowed by CONAMA Resolution 420/2009. Metals Fe, Mn, Zn, Cd, Cu and Cr were found in the stream near the landfill area with acceptable tolerance levels for water use according to CONAMA Resolution 20/86 with the exception of the Mn element, which presented values above the limit established by CONAMA Resolution 20/86 and also the limits recommended by the Ministry of Health for drinking water.

**Keywords:** Environmental degradation; Soil contamination; Pollution.


Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**


Received: **18/08/2021**

Approved: **19/09/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Romikson Christiano da Silva Freitas**  
Centro Universitário Cesmac, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0789963468825823>  
[romikson@gmail.com](mailto:romikson@gmail.com)

**Mayara Andrade Souza**   
Centro Universitário Cesmac, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7011574518141449>  
<https://orcid.org/0000-0003-0823-1957>  
[mayarandrade@hotmail.com](mailto:mayarandrade@hotmail.com)

**Paulo Rogerio Barbosa de Miranda**   
Centro Universitário Cesmac, Brasil  
<http://orcid.org/0000-0002-8933-9945>  
[paulo.miranda@cesmac.edu.br](mailto:paulo.miranda@cesmac.edu.br)

**Joao Gomes da Costa**  
Centro Universitário Cesmac, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0449078764189687>  
[joao.gomesdacosta@gmail.com](mailto:joao.gomesdacosta@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0033

### **Referencing this:**

FREITAS, R. C. S.; SOUZA, M. A.; MIRANDA, P. R. B.; COSTA, J. G.. Contaminação ambiental por metais pesados provenientes do descarte irregular de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.9, p.433-441, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0033>

## INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e industrial do mundo traz consequências indesejadas como, por exemplo, a geração de milhares de toneladas de resíduos sólidos, que acarretam o descarte irregular. Essa falta de controle na disposição enseja vários problemas sociais, econômicos, de saúde e principalmente ambientais, uma vez que esses resíduos descartados irregularmente podem contaminar o meio ambiente (água, solo e ar) e, conseqüentemente, as plantas e animais, que são utilizados como alimento, acarretando um aumento significativo de teores de metais pesados. Esse é um dos principais problemas enfrentados pelos órgãos ambientais nas últimas décadas (SHI et al., 2005; HOFER et al., 2010).

Torna-se extremamente importante a recuperação da área de um lixão desativado, pois emite diariamente lixiviados e gases de efeito estufa, que são grandes passivos ambientais, além da proliferação de vetores de doenças e possível contaminação de plantas e bacia hidrográfica (LOPES et al., 2012)

Abreu et al., (2002) afirmam que os principais metais pesados encontrados no solo são: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn), e citam que o homem é um dos principais causadores da adição de metais pesados através de ações antropogênicas no meio ambiente. Andrade et al. (2009), destacam também o aumento das atividades industriais, bem como o uso de produtos químicos nas atividades agrícolas e o crescimento urbano. Já Alloway (1990) e Biondi (2010) afirmam que grande parte dos metais pesados encontrados no solo são originados de minerais primários através de processos de formação do solo aliados as condições climáticas de cada área. O processo de intemperismo das rochas; físico (desagregação) e químico (decomposição), é um dos principais processos naturais de presença de metais pesados no solo, segundo Gouveia (2009). Barbosa et al. (2012), confirmam que a presença de metais pesados no solo é resultante de processos de fontes naturais combinados com atividade antropogênicas.

Alguns metais pesados podem permanecer no solo por milhares de anos, acarretando a acumulação destes metais, e conseqüentemente ultrapassam o limite permissível e tornam-se tóxico. Esses metais podem ser elementos teratogênicos, mutagênicos e carcinogênicos de acordo com seu teor encontrado no solo (ALLOWAY, 1990; SINGH et al., 2010).

A utilização de valores de referência para estimar o nível de poluição dos solos devem ser adotados para o monitoramento da qualidade do solo, prevenção à poluição e diagnóstico de áreas suspeitas de contaminação. No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB foi a primeira a criar valores orientadores para substâncias tóxicas em solos do estado de São Paulo (CETESB, 2001). Em nível nacional, foi criada em dezembro de 2009 a Resolução 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que trata sobre critérios de valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias tóxicas (CONAMA, 2009).

De acordo com Paganini et al. (2004), o cádmio (Cd) não é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo tóxico até em baixas concentrações. O cobre (Cu) e o zinco (Zn) podem ser tóxicos em concentrações acima de 10 mg/L. O alumínio (Al), em altas concentrações, pode causar a

diminuição da produtividade. O ferro (Fe) e o manganês (Mn) são os metais pesados mais encontrados no solo e em maiores concentrações, porém os menos nocivos dos citados. Já o chumbo (Pb), crômio (Cr), cádmio (Cd) e níquel (Ni) são os elementos mais associados à poluição e ao risco ambiental (FADIGAS et al., 2002). Rangel et al. (2006) sustentam que trabalhos recentes confirmam que plantas cultivadas com altas concentrações de metais pesados podem oferecer riscos à saúde humana.

Nos seres humanos, a intoxicação por cádmio (Cd) pode induzir a disfunção renal. Doenças ósseas e deficiência na função reprodutiva, podendo também a possibilidade de atuar como agente cancerígeno. Níveis tóxicos de ferro (Fe) têm sido associados a doenças neurológicas como a doença de Parkinson, contribuindo também para o processo de envelhecimento (MARTIN et al., 2009). Efeitos do cromo (Cr) nos seres humanos estão relacionados a problemas cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos. Intoxicação por zinco (Zn) pode causar distúrbios gastrointestinais como náuseas, vômito e dores abdominais. Já o Manganês está relacionado a problemas como dores musculares, distúrbios do sono e incidência de bronquite e asma (SALGADO, 1996).

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar uma possível contaminação do solo do antigo lixão do município de Viçosa – Alagoas por metais pesados devido à disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos através de análises laboratoriais físico-químicas e de metais pesados.

## **METODOLOGIA**

### **Local da pesquisa**

A pesquisa foi realizada na antiga área do lixão pertencente ao município de Viçosa, localizado na Zona da Mata do Estado de Alagoas. Com uma área territorial de 371,612 km<sup>2</sup>, altitude de 210 m e população estimada em 25.773 pessoas, densidade demográfica de 74,00 hab/km<sup>2</sup> com 31,7% de esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2000).

A precipitação pluvial na região é, em média, 1.117 mm anual, com clima tropical chuvoso, com verão seco e temperatura média anual variando entre 22º a 35ºC. A vegetação predominante é do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Hipoxerófila. Os solos preponderantes são os Latossolos nos topos planos, sendo profundos e bem drenados; Argissolos nas vertentes íngremes, sendo poucos e medianamente profundos e bem drenados; e Gleissolos de várzea nos fundos de vales estreitos, com solos orgânicos e encharcados.

Para seleção da área de estudo, foi realizado levantamento na região das áreas destinadas a deposição do lixo coletado no município de Viçosa. A área selecionada está localizada na zona rural em uma propriedade particular, anteriormente arrendada pela prefeitura para deposição dos resíduos sólidos do município no período de 2014 a 2018 (Figura 1).



**Figura 1:** Localização do município de Viçosa e área destinada ao lixão. **Fonte:** Google Earth

Para realização da pesquisa foram selecionadas 03 áreas: Área 01- área de mata - com vegetação natural original composta por floresta Subperenifólia e trechos de cerrado. Caracterizada por área de vegetação nativa com pouca ou nenhuma interferência antrópica, rodeada por áreas de pastagem e próxima a área do antigo lixão (Figura 2A). Área 02 – área do antigo lixão – área destinada ao depósito de resíduos sólidos urbanos do município de viçosa durante os anos de 2014 a 2018, bem como restos de animais e entulhos de construção (Figura 2B). Atualmente, apresenta-vegetação rasteira, frutífera e pasto, com presença de resíduos sólidos urbanos, e presença de queimadas. A área fica rodeada de áreas de pastagem, mata fechada e próximo a uma nascente de água. A área de destinação dos RSU está localizada a 300 metros de uma residência, sendo exigida pela NBR 8419/1984 (ABNT, 1984) uma distância mínima de 500 metros para residências, chácaras e fazendas. Área 03 – Pastagem – predominância de gramíneas com presença de espécies arbustivas e arbóreas nativa. Relevo declivoso e presença de solo desnudo, fatores favoráveis ao processo de degradação (Figura 2C).



**Figura 2:** Áreas selecionadas para realização do estudo no município de Viçosa-AL. A-Mata Atlântica, B – Lixão e C- Pastagem.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006), os solos do município de Viçosa são classificados em Argissolos Amarelos: solos constituídos por material mineral, com incremento no teor de argila do horizonte superficial, com profundidade variável, com cores amareladas ou avermelhadas, de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa e predominantemente caulíníticos.

### Amostragem e Análises

Em cada área, foram coletadas 10 amostras de solo simples compostas (3 amostras simples cada),

na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, etiquetadas, lacradas e armazenadas em temperatura ambiente, posteriormente, foram enviadas para análises laboratoriais para as seguintes determinações físico-químicas: granulometria, pH, matéria orgânica, teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio trocável, soma de bases, CTC e saturação de bases, conforme metodologia da EMBRAPA (1997).

Para determinação dos metais pesados, foram coletadas cinco amostras compostas de solo nas 03 diferentes áreas de estudo. As amostras foram coletadas com auxílio de trado a uma profundidade de 0 – 20cm do solo, as quais foram armazenadas em sacolas plásticas, identificadas e encaminhadas ao laboratório para extração dos metais pesados: cádmio (Cd), cobre (Cu), manganês (Mn), crômio (Cr), ferro (Fe) e zinco (Zn). Para esta determinação, foi utilizada a metodologia de EPA 3051 (ESTADOS UNIDOS, 2007) pelo método Mehlich 1, cujo mecanismo de ação é a dissolução ácida, sendo utilizados o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e o ácido clorídrico (HCl) (EMBRAPA, 2007). A interpretação dos resultados será realizada com base na Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009), conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** Lista de Valores Orientadores para Solos.

Substâncias	Prevenção	Investigação Solo (mg.kg <sup>-1</sup> )		
		Agrícola	Residencial	Industrial
Ferro	--	--	--	--
Cobre	60	200	400	600
Zinco	300	450	1000	2000
Manganês	--	--	--	--
Cádmio	1,3	3	8	20
Crômio	75	150	300	400

**Fonte:** Conama (2009)

As coletas para análises físico-químicas da água foram realizadas em córrego próximo ao local do antigo lixão, com período de coleta no período seco. Para análise, foram coletadas amostras de água em três pontos do curso da água, com três repetições e analisados os metais: alumínio (Al), cádmio (Cd), cobre (Cu), crômio (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (TEDESCO et al., 1995).

Os valores de concentração da análise de metais foram comparados com os valores máximos permitidos para os metais estudados em águas para consumo e abastecimento humano que representam risco à saúde por meio dos valores determinados pelo Ministério da Saúde (Tabela 2).

**Tabela 2:** Valores máximos permitidos para os metais estudados em águas para consumo e abastecimento humano.

Parâmetro	Valor Máximo Permitido (mg.L <sup>-1</sup> )
Ferro Total	0,3
Manganês Total	0,1
Zinco Total	5
Cádmio Total	0,005
Cobre Total	2
Crômio Total	0,05

**Fonte:** Brasil (2004)

Os dados obtidos foram submetidos à análise da estatística descritiva e estimativas de correlações de Pearson foram calculadas visando a identificar possíveis associações entre as variáveis estudadas, e em uma análise de agrupamento, possíveis dissimilaridades entre os pontos amostrados por intermédio de

análise multivariada pelo método de Tocher. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físicas e químicas do solo

A área do antigo lixão foi classificada com solo Franco Argilo-Arenoso com alta capacidade de retenção de água, alta resistência à mudança de pH, alta susceptibilidade a compactação e alta capacidade de armazenamento de nutrientes (EMBRAPA, 2009). Características essenciais para o cultivo e atividades agrícolas, pois o solo concentra altos teores de nutrientes, com pouca acidez e boa retenção de água, o que os deixa mais resistentes à erosão.

As áreas de Mata e Pastagem tiveram resultados parecidos em relação às propriedades físicas do solo, sendo classificados por solos Franco Arenosos, com textura moderadamente fina e baixa capacidade de retenção de água, rápida decomposição de matéria orgânica, baixa capacidade de armazenamento de nutrientes e elevado potencial de lixiviação de poluentes (EMBRAPA, 2009). Tais características determinam que o solo é pobre em nutrientes, de pH baixo e baixo teor de matéria orgânica e com alta dificuldade para a sobrevivência de plantas e organismos, sendo necessário à adoção de práticas de conservação do solo por práticas de manejo: plantio direto, rotação de culturas, adubação verde e integração lavoura-pecuária.

Os índices de pH, Na, H + Al e V (%) foram diferentes nas três áreas de estudo (Mata, Lixão e Pastagem) (Tabela 3). Nas áreas 1 (Mata) e 3 (Pastagem), o pH do solo foi caracterizado como ácido, tal acidez pode ser prejudicial para o cultivo, pois, na maioria das vezes, os solos não são férteis porque a disponibilidade de nutrientes é muito pequena para as plantas, sendo necessária a correção do pH do solo no processo denominado calagem, que significa na adição de calcário (carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ ) no solo; já na área 2 (lixão) foi determinado o pH do solo como alcalino.

Nystrand et al. (2016) afirmam que a matéria orgânica presente no solo é um componente importante para a retenção de muitos contaminantes, incluindo os metais pesados, sendo um dos causadores de sua imobilização.

**Tabela 3:** Características químicas do solo nas áreas com diferentes usos, mata atlântica (1), lixão (2) e pastagem (3) no Município de Viçosa, Alagoas.

Variável\Área	Área 1	Área 2	Área 3
Ph	3,75 ± 0,32 c	7,54 ± 0,544 <sup>a</sup>	4,98 ± 0,305 b
Na (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,0163 ± 0,001c	0,0328 ± 0,002 <sup>a</sup>	0,0217 ± 0,001 b
P (mg dm <sup>-3</sup> )	2,40 ± 0,699b	117,50 ± 45,712 <sup>a</sup>	4,30 ± 2,452b
K (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,2261 ± 0,121b	0,8271 ± 0,226 <sup>a</sup>	0,2059 ± 0,0567b
Ca + Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,68 ± 0,862b	9,84 ± 2,879 <sup>a</sup>	2,33 ± 1,244b
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,89 ± 0,498b	7,96 ± 2,469 <sup>a</sup>	1,46 ± 1,016 b
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,79 ± 0,390 b	1,88 ± 0,655 <sup>a</sup>	0,87 ± 0,250 b
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,497 ± 0,348 a	0,00 ± 0,00 b	0,034 ± 0,051b
H + Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	4,07 ± 0,579 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,182c	2,39 ± 0,637 b
SB	2,081 ± 1,035b	11,644 ± 2,790 <sup>a</sup>	2,68 ± 1,218b
CTC	2,578 ± 0,748b	11,644 ± 2,790 <sup>a</sup>	2,714 ± 1,205b
V (%)	32,61 ± 10,831c	98,18 ± 1,736 <sup>a</sup>	51,87 ± 10,736b
M (%)	22,83 ± 17,350 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00b	1,49 ± 2,226b
SK (%)	3,69 ± 1,436b	8,31 ± 3,528 <sup>a</sup>	4,43 ± 1,589 b

C.O. (g/dm <sup>3</sup> )	11,80 ± 2,85b	24,12 ± 10,77 <sup>a</sup>	9,55 ± 3,87b
---------------------------	---------------	----------------------------	--------------

pH: potencial hidrogeniônico, Na: Sódio, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, Al: Alumínio, H: hidrogênio, S: Soma das Bases, CTC: Capacidade de Troca de Cátions, V: Ind. de Sat. de Bases, C.O.: Carbono Orgânica, M: Ind. de Sat. De Alumínio, SK: Sat. em Potássio. Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Fonte: Dados da pesquisa.

O solo do antigo lixão apresentou aumento nos índices: Soma das Bases, Capacidade de Troca de Cátions e Índice de Saturação das Bases em relação à área da mata e de pastagem (Tabela 3). De acordo com COTTA et al. (2006), os valores de Capacidade de Troca de Cátions (CTC), quando maiores que 5 cmol/kg, significam uma alta capacidade de troca de cátions com o meio, assim ocorre menor mobilidade do contaminante no solo. A interação entre a CTC e MO pode ocasionar a liberação dos metais pesados que estão retidos nas camadas superficiais até o lençol freático (MATIAS et al., 2012).

### Metais Pesados

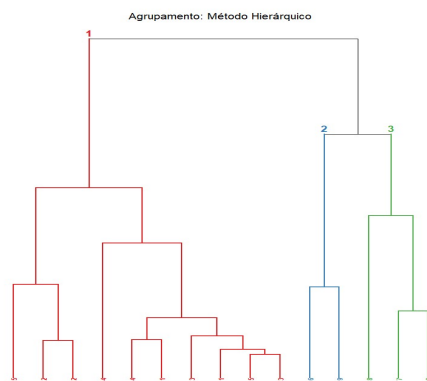
Teores de cádmio, manganês, zinco e cobre foram iguais para as áreas de Mata e Pastagem, com diferenças na área do antigo Lixão. Consta elevado teor de ferro na área de mata e elevados teores de ferro, zinco, manganês e cádmio na área do antigo lixão, sendo o cádmio (4,9 mg/kg<sup>-1</sup>) acima dos teores permissíveis de acordo com índices da CETESB (2016) e CONAMA (2009) que seria de (1,3 mg/kg<sup>-1</sup>) (Tabela 1 e 2).

De acordo com Agourakis et al. (2006), a grandes concentrações de Zn e Mn, podem ter sido originadas pelo descarte inadequado de pilhas e baterias no lixão. Segundo eles, os metais Mn e Zn correspondem a, aproximadamente, 50% em massa da composição média de uma pilha alcalina. Na figura 03, encontram-se 3 grupos distintos, caracterizados pela análise dos metais pesados, por meio do método de agrupamento hierárquico. O grupo 1 foi formado pelos pontos de coleta das áreas de Mata (Área 1) e Pastagem (Área 3). Os grupos 2 e 3 são formados apenas de pontos de coleta da área do antigo lixão (Área 2).

Os resultados mostram uma similaridade dos resultados entre os pontos de coleta do grupo 1, pertencentes a áreas de Mata e Pastagem e ausentes da presença de resíduos sólidos. No grupo 2, com os pontos de coleta 6 e 9, encontra-se similaridade de resultado nos parâmetros avaliados Manganês (Mn) e Crômio (Cr). O grupo 3, composto pelos pontos de coleta 7, 8 e 10, tem Ferro (Fe) e Cobre (Cu) como parâmetros similares entre os pontos (Figura 3). Em relação à contribuição para determinação da variabilidade entre as áreas estudadas (Tabela 4), constata-se que entre as variáveis, ferro e crômio foram as que mais contribuíram para a distinção dos grupos (ambientes) com 45,70%, e 19,00%, respectivamente.

A lixiviação do solo ocasionada pela permeação de água de chuva, segundo Oliveira e Juca (2004) pode estar relacionado a presença acentuada destes elementos à corrosão de peças metálicas. E afirmam que o transporte destes metais nos solos não é apenas através de condutividade hidráulica, mas também pela presença de microrganismos e de substâncias orgânicas capazes de reter estes metais pesados. Sendo o cobre um dos metais encontrado nos aparelho eletrônicos (BIANCHIN, 2011) que diariamente são descartados de forma inadequada no meio ambiente. Vindo assim a ocasionar sérios danos ambientais e

uma ameaça a biodiversidade, devido aos altos índices e alto potencial tóxico dos metais pesados (SILVA, 2015).



**Figura 3:** Classificação dos diferentes pontos de coleta de solos em relação aos metais pesados utilizando o método de agrupamento hierárquico.

**Tabela 4:** Contribuição das variáveis para a formação de grupos distintos ou para determinação da variabilidade entre as áreas estudadas.

Variável	Contribuição (%)
Crômio	19,00
Cádmio	9,52
Manganês	12,40
Zinco	7,62
Cobre	5,71
Ferro	45,70

## CONCLUSÕES

A área do antigo lixão apresenta variabilidade quanto às características físico-químicas do solo e presença de metais pesado, o que demonstra seu processo de degradação. Há contaminação do solo na área de lixão pelo elemento cádmio com níveis acima dos limites permissíveis pela Resolução do CONAMA 20/86. O córrego de água próximo à área do lixão detectou presença do metal pesado Mn com valores acima do limite estabelecido pelo Resolução do CONAMA 20/86 e limites preconizados pelo Ministério da Saúde para potabilidade da água.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. B.. **Estudo da poluição de águas superficiais causada pelo lançamento de percolado, proveniente do aterro controlado de Muribeca**. Recife: Universidade Federal Rural do Pernambuco, 2008.

ABRELPE. Associação Brasileira da Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2020.

AGOURAKIS, D. C.; CAMARGO, I. M. C.; COTRIM, M. B.; FLUES, M.. **Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo**. Química Nova, 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ANDRADE, M. G.; MELO, V. F.; GABARDO, J.; SOUZA, L. C. P.; REISSMANN, C. B.. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. Fitoextração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.33, p.1879-1888, 2009.

BIANCHIN, L.. **Atributos químicos e especiação de cromo em solo com aplicação de resíduos de curtume e carbonífero em experimento de campo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

BIONDI, C. M.. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco**. Recife: Universidade Federal Rural do Pernambuco, 2010.

CHIBUIKE, G. U.; OBIORA, S. C.. Heavy metal polluted soils: effect on plants and bioremediation methods. **Applied and Environmental Soil Science**, v.2014, 2014.

CETESB. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental do estado de São Paulo. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2001.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes**



para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: DOU, 2009.

COSTA, W.; MATIAS, D. N.. Estudo químico de alguns pontos do solo superficial do aterro controlado do Botuquara. 2012.

COTTA, J. A. O.; SALAMI, F. H.; MARQUES, A. R.; REZENDE, O. M. O.; LANDGRAF, M. D.. Validação do método para determinação de nitrogênio total. *Revista Analytica*. São Paulo, v.5, p.68-75, 2006.

CRUZ, C. D.. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

SILVA, E. M.. Final Destination Diagnosis of Solid Waste Generated in Rural Settlements in the Sertão de Paraíba, Brasil. *Revista 60 Geama*, v.3, n.4, p.257-260, 2017.

DIXIT, R.. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, v.7, n.2, p.2189-2212, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 2007.

EPA. Environmental Protection Agency. **Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges and soils**. Washington, 1994.

FERNANDES, A. N.. Remoção dos hormônios 17 $\beta$ -estradiol e 17  $\alpha$ -etinilestradiol de soluções aquosas empregando turfa decomposta como material adsorvente. *Química Nova*, São Paulo, v.34, n.9, p.1526-1533.

GHAYORANEH, M.; QISHLAQI, A.. Concentration, distribution and speciation of toxic metals in soils along a transect around a Zn/Pb smelter in the northwest of Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, v.180, p.1-14, 2017.

GOUVEIA, L.. Resíduos Sólidos Urbanos-impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*. São Paulo, 2012.

HAN, F. X.; SU, Y.; SRIDHAR, M. B. B.; MONTS, D. L.. Plants soil, 2004, p.265-243.

HOFER, C.; GALLAGHER, F. J.; HOLZAPFEL, C.. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. *Environmental Pollution*, v.158, p.1207-1213, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000**. São Paulo, 2019.

MAHAR, A.. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, v.126, p.111-121, 2016.

MARTIN, S.; GRISWOLD, W.. **Human Health Effects of Heavy Metals**. Kansas State University, 2009.

MILHOME, M. A. L.. Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica. *Rev. Virtual Quim.*, v.10, n.1, p.59-72, 2018.

BARBOSA, A. M.; GALINDO, E. A.; DAESSLE, L.W.; BORBON, O. M. V.; ZAVALA, J. A. S.. Relationship between metal enrichments and a biological adverse effects index in sediments from Todos Santos Bay, northwest coast of Baja California. *Marine Pollution Bulletin*, v.64, p.405-409, p.267-276. 2007.

NYSTRAND, M. I.; OSTERHOLM, P.; YU C.; ASTROM, M.. **Distribution and speciation of metals, phosphorus, sulfate and organic material in brackish estuary water affected by acid sulfate soils**. 2016.

OLIVEIRA, F. S. J.; JUCÁ, F. T. J.. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 2004.

PINHEIRO, N. C. A.; MOCHEL, F. R.. Diagnóstico de áreas contaminadas pela disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar (MA). *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.23, n.6, 2018.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J. A.. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.3, 2006.

SALGADO, P. E. T.. **Toxicologia dos Metais**. In: OGA, S.. **Fundamentos de Toxicologia**. São Paulo, 1996, p.154-172.

SANTOS, Y. T. C.. Contaminação dos metais pesados em águas superficiais provocados por resíduos industriais dispostos no lixão de Juazeiro do norte- CE. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 33. *Anais*. Salvador, 2013.

SHI, X.; ZHANG, C.; WANG, H.; ZHANG, F.. **Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings**. *Plant and Soil*, v.272, n.1, p.53 60, 2005.

SILVA, E.; SANTOS, P. S.; GUILHERME, M. S.. Chumbo nas plantas: uma breve revisão sobre seus efeitos, mecanismos toxicológicos e remediação. *Agrarian Academy*, Goiânia, v.2, n.3, p.1-21, 2015.

SILVA, T. A. C.. **Indicadores da Qualidade do Solo na Avaliação de Condição Ambiental de área de lixão desativado em Ouro Fino – MG**. Itajubá, 2019.

SILVA, R. S. B.. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. *Revista Ambiente e Água*, v.13, n.2, 2018.

TEDESCO, J. M.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H.. **Análises do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

VARDHAN, K. H.; PONNUSAMY, S. K.; PANDA, R.. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives, *Journal of Molecular Liquids*, 2019.

WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 2017.