

Artigo

Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica

Milhome, M. A. L.;* Holanda, J. W. B.; de Araújo Neto, J. R.; do Nascimento, R. F.

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (1), 59-72. Data de publicação na Web: 5 de março de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Diagnosis of Contamination of Soil by Toxic Metals from Urban Solid Waste and Influence of Organic Matter

Abstract: In recent years, the disposal of urban solid waste (USW) in inadequate places has been increasing in Brazil. The objective of this study was to evaluate the contamination of lead, cadmium, copper, manganese, chromium, iron, nickel, cobalt and zinc metals and their relationship with organic matter (OM) in the vicinity of the city's "dump" Iguatu, Ceará. Eight soil samples were collected in the layer from 0 to 0.20 m depth. The pH was carried out in distilled water, the OM by wet oxidation with potassium dichromate. The extraction of metals was carried out via acid digestion and its quantification by atomic absorption spectrometry. The results were compared with the soil guiding values established by CONAMA Resolution 430/2009. Analysis of the soil samples showed levels of Cr < Mn < Pb < Cu < Zn < Fe. Pearson's correlation showed that Zn, Mn and Fe were related to soil organic matter. Cu, Zn and Pb values were found at levels above that established by legislation, creating a risk of contamination in the region.

Keywords: Heavy metals; Pearson Correlation; Adsorption; Speciation.

Resumo

Nos últimos anos, a eliminação de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos locais inadequados vem crescendo no Brasil. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a contaminação pelos metais chumbo, cádmio, cobre, manganês, cromo, ferro, níquel, cobalto e zinco e sua relação com a matéria orgânica (MO) do solo nas proximidades do "lixão" da cidade de Iguatu, Ceará. Foram coletadas 8 amostras de solo na camada de 0 a 0,20m de profundidade. O pH foi realizado em água destilada, a MO pela oxidação via úmida com dicromato de potássio. Extração dos metais foi realizada via digestão ácida e sua quantificação por espectrometria de absorção atômica. Os resultados foram comparados com os valores orientadores no solo estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2009. Análises das amostras de solo mostraram níveis de Cr < Mn < Pb < Cu < Zn < Fe. A correlação de Pearson mostrou que Zn, Mn e Fe estavam relacionados com a matéria orgânica do solo. Valores Cu, Zn e Pb foram encontrados em níveis acima do estabelecido pela legislação, criando risco de contaminação na região.

Palavras-chave: Metais pesados; Correlação de Pearson; Adsorção; Especificação.

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Iguatu, Rodovia Iguatu, Várzea Alegre, Km 05, Vila Cajazeiras, CEP 63500-000, Iguatu-CE, Brasil.

✉ apmilhome2013@gmail.com.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20180007](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180007)

Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica

Maria Aparecida L. Milhome,^a Jayme Welton B. Holanda,^a José Ribeiro de Araújo Neto,^a Ronaldo F do Nascimento^b

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Química, Campus Iguatu, Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, Km 05, Vila Cajazeiras, CEP 63500-000 Iguatu, Ceará, Brasil.

^b Universidade Federal do Ceará, Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Rua Humberto Monte S/N, Pici, CEP 60455-700, Fortaleza-CE, Brasil.

* apmilhome2013@gmail.com.br

Recebido em 15 de agosto de 2017. Aceito para publicação em 27 de fevereiro de 2018

1. Introdução

2. Metodologia

- 3.1. Local de estudo e amostragem
- 3.2. Análise pH do solo
- 3.3. Matéria orgânica (M.O.) do solo
- 3.4. Determinação de metais tóxicos

3. Resultados e Discussão

- 3.1. Análise de pH, M.O e metais pesados no solo
- 3.2. Correlação de Pearson
- 3.3. Avaliação dos riscos ambientais e humanos

4. Conclusão

1. Introdução

Um dos grandes problemas socioambientais enfrentado pela humanidade nos dias atuais consiste na disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU). Este problema vem se agravando, devido aos avanços tecnológicos e à crescente globalização estimulando o

capitalismo na produção de bens de consumo duráveis e não duráveis.

A produção per capita de RSU em 2014 no Brasil foi de 387,63 Kg/hab/ano.¹ O número de resíduos destinados em locais inapropriados, como “lixões” ou aterros controlados é preocupante: cerca de 29,659 milhões de toneladas/ano (42,6 %).¹ No Estado do Ceará cerca de 85% dos municípios tem destinado seus resíduos a “lixões”,

vazadouros a céu aberto.²

A Lei nº 12.305/2010 estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que dentre os objetivos, destaca-se o gerenciamento e gestão dos RSU no Brasil.³ Esse gerenciamento está relacionado à coleta e destino final adequado do lixo, em aterros sanitários. Porém muitos municípios ainda necessitam adequar-se à nova política.

A resolução CONAMA 420/2009 (alterada pela Resolução CONAMA 460/2013),⁴ 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. Valores de Referência de Qualidade (VRQ) correspondem à concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinada com base na interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solo. Esse valor pode variar de Estado para Estado e é dever de cada um apresentar esses valores. Alguns Estados como Ceará, ainda não apresentam esses valores estimados. Os valores de prevenção (VP) consistem de valores que limitam determinada substância no solo e se ultrapassado é necessário que haja um monitoramento do mesmo. Os valores de Intervenção (VI) são valores que determinam riscos potenciais, a saúde humana, diretos ou indiretos, considerando um cenário de exposição padronizada.⁴

O crescente aumento do número de “lixões” no país, tem tornado a população susceptível a contaminação. Devido a produção de chorume oriundo da decomposição dos resíduos sólidos, se o solo não for impermeabilizado, fica desprotegido, podendo levar consigo diversos tipos de substância tóxicas, tais como metais pesados.⁵

O processo de urbanização no município de Iguatu, Ceará, tem intensificado a produção de RSU e o saneamento básico se tornou precário.⁶ Resíduos sólidos têm sido

depositados em locais inapropriados (formando os “lixões”), provenientes do descarte de lixo doméstico, resíduos da construção civil, hospitalar e agricultura.⁷ Um Aterro Sanitário previsto para ser implementado no município não teve sua obra concluída, acarretando impactos ambientais e riscos a saúde da população.

Traços de metais tóxicos podem acarretar danos ao ecossistema e à saúde humana.⁸⁻¹⁰ A exposição prolongada à esses resíduos geram problemas graves como dores de cabeça, náuseas, irritações na pele e nos pulmões, além de diminuir as funções do sistema nervoso. Com isso torna-se preocupante o nível de metais em diferentes matrizes ambientais.⁶

A disposição inadequada de resíduos urbanos pode levar ao acúmulo de contaminantes, incluindo os metais no solo.^{11,12} Pesquisas recentes têm citado o impacto ambiental e os riscos associados à contaminação por metais tóxicos.^{11,13-18} Wei e Yang (2010)¹¹ avaliaram o nível de metais pesados relacionados a contaminação em várias cidades da China ao longo dos últimos 10 anos. Neste estudo foram discutidas as concentrações, fontes, níveis de contaminação, ferramentas de análise de metais pesados em solos urbanos e agrícolas. Os resultados indicam que quase todas as concentrações de Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, As, Hg e Cd são mais elevados do que os seus valores de solo natural característico do país. Amostras de solo da China também foram estudadas por Sun *et al.*, (2010)¹⁴ em 36 diferentes áreas funcionais em distritos de Shenyang. De acordo com a pesquisa, os valores do índice de poluição (PI) e índice integrados da poluição (IPI) indicaram que o nível de poluição por metais foi Pb > Cd > Zn > Cu e Cd, Cu, Pb e Zn pertencem a moderado ou alto nível de poluição.

De acordo com Santos (2005)¹⁹ o solo é formado por diferentes componentes, na qual os elementos (micronutrientes ou metais) encontram-se dispersos ou ligados quimicamente por ligações fracas ou até mesmo de alta energia. Os metais estão associados principalmente: a solução do solo;

à superfície inorgânica (troca iônica e adsorção específica); à matéria orgânica; aos óxidos e aos minerais primários e secundários.

Parâmetros como pH e M.O. exercem influência da interação de elementos traços em matrizes ambientais.²⁰⁻²⁴ De acordo com Nystrand *et al.*, (2016)²² a matéria orgânica (especialmente húmica e ácidos fúlvicos) presentes no solo é um componente favorável a retenção de muitos contaminantes, incluindo metais pesados, o que pode resultar na sua imobilização. Os íons metálicos (tais como Zn^{2+} e Cu^{2+}) possuem grande afinidade com os grupos funcionais OH, COOH, SH e CO encontrados nas substâncias húmicas presentes na matéria orgânica.²³

A adsorção competitiva dos íons metálicos tem sido relatada por alguns autores.^{25,26} Joris *et al.*, (2012)²⁶ avaliaram a dinâmica dos metais Cu, Ni, Zn e Cd em latossolo vermelho distrófico, manejado por sistema de plantio direto com e sem calagem. Os autores verificaram que o aumento do pH, causado pela calagem, resultou em um aumento da adsorção de Cu, Zn, Cd e Ni, principalmente na camada superficial do solo. Além disso, constataram que a calagem alterou a dinâmica dos metais tóxicos no solo, sendo uma estratégia eficiente com potencial para minimizar problemas ambientais com esses elementos.

Borges e Coutinho (2004)²⁷ também estudaram o efeito do pH e da aplicação de biossólido sobre a distribuição de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em dois tipos de solo (Neossolo Quartzarênico órtico típico - RQ e Latossolo Vermelho eutroférico argiloso - LV). Verificaram que com o aumento do pH do solo ocorreu uma redistribuição dos metais Cu, Mn e Zn da fração trocável para a fração ligada a matéria orgânica e/ou de óxidos (menos disponível).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre a disponibilidade de

metais pesados com o pH e o teor de matéria orgânica do solo na área do entorno do “lixão” da cidade de Iguatu, CE, além de comparar os níveis de metais encontrados com os valores orientadores no solo estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009.

2. Metodologia

2.1. Local de estudo e amostragem

A cidade de Iguatu, que está localizado na região Centro-Sul do estado do Ceará e possui uma população média de 102.013 habitantes e uma área de 1.029.214 Km².²⁸ O município tem um clima tropical de savana (classificação de Köppen-Geiger: Aw), a temperatura média anual de 26-28°C, com precipitação média anual de 806 mm, de longos períodos de seca e alta evaporação.

O município de Iguatu produz cerca de 183 toneladas/dia de resíduos sólidos.²⁸ Desde 1989, esses resíduos tem sido depositado em um “lixão” localizado próximo a Rodovia CE-282, no Bairro Chapadinha, 6,8 Km de distância do centro o município, com área aproximada de 294.000 m², com altitude de 217,8 m e solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo.²⁹

As amostras de solo foram coletadas em Janeiro de 2016 em 8 pontos no entorno do lixão de Iguatu-CE. Na Figura 1 estão apresentados os pontos de coleta das amostras. Com o auxílio de um trado foram retiradas amostras de solo na camada de 0-0,20 m de profundidade do solo. As amostras recém-coletadas foram armazenadas em sacos plásticos transparentes, identificadas e levadas até o Laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Iguatu para serem realizadas as análises de pH, matéria orgânica e metais pesados.

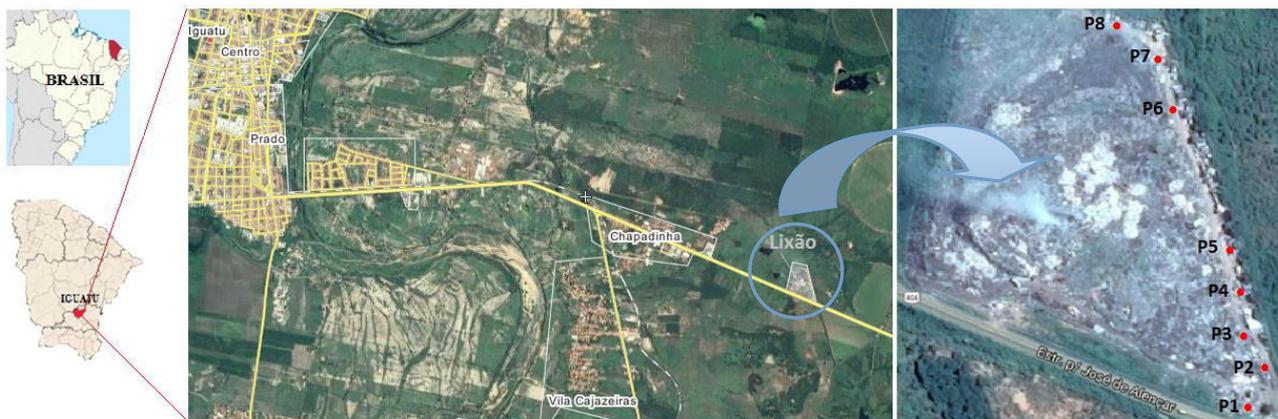


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem do solo nas proximidades do Lixão de Iguatu-CE

2.2. Análise pH do solo

O pH de amostras de solo foram obtidas de acordo com procedimento descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.³⁰

Amostras de solo (10 g) foram adicionadas em um bequer contendo 25 mL de água destilada. Após agitação com bastão de vidro a solução foi mantida em repouso por 1 hora. Decorrido o tempo, foi realizada a leitura do pH utilizando pHmetro digital (KASVI modelo K39-1014B).

2.3. Matéria orgânica (M.O.) do solo

A determinação da M.O. do solo foi realizada com base no método de oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H_2SO_4), conforme recomendado pela

EMBRAPA (1997).³⁰ O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal.

Cerca de 0,5 g da amostra de solo, previamente triturado e peneirado (80 mesh) foram transferidos para um erlenmeyer de 250ml. Em seguida, foram acrescentados 10 mL de solução oxidante de dicromato de potássio (0,4 N) em meio ácido (H_2SO_4). A amostra foi então aquecida em chapa elétrica por 5 minutos. Decorrido o tempo de aquecimento, deixou-se esfriar e adicionou-se 80 mL de água destilada e acrescentado 2 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina. A solução foi então titulada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 N até se verificar a mudança da cor azul para verde. O volume gasto (V_T) em mL foi anotado para cálculo. A análise do branco da amostra também foi realizada, anotando o volume gasto (V_B).

O Carbono Orgânico ($g\ Kg^{-1}$) foi obtido através da equação (1):

$$CO (g\ Kg^{-1}) = (40 - V_T) \times f \times 0,6 \quad (1)$$

Onde V_T = volume de titulante gasto com a amostra, $f = 40/V_B$. A M.O. ($g\ Kg^{-1}$) foi calculada multiplicando-se o resultado do

carbono orgânico (C), em $g\ Kg^{-1}$, por uma fator, conforme equação (2):

$$\text{M.O.} = C \times 1,724 \quad (2)$$

O fator 1,724 é utilizado considerando que na composição média do húmus, o carbono participa com 58 %.

2.4. Determinação de metais tóxicos

Análise dos metais Chumbo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Cobalto (Co) e Zinco (Zn) foram realizadas com base na metodologia da USEPA (1998) e Oliveira (2012).^{31,23} As amostras de solo foram primeiramente submetidas a processo de digestão ácida para posteriormente ser analisada através do método de Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA).

Cerca de 0,2 g de solo foram pesados em uma balança analítica (MARCONI, AY220) e transferidos para um Erlenmeyer. Um volume de 10 mL de HCl 0,1 M foi acrescentado ao recipiente. A mistura foi então submetida à agitação constante, sob temperatura ambiente (± 25 °C) por cerca de 2 horas. Após a digestão ácida, a mistura foi filtrada e transferida para um balão volumétrico de 50 mL e o volume foi aferido com água destilada. Todas as amostras foram feitas em duplicata. Amostras acidificadas foram analisadas por EAA (espectrometria de Absorção atômica), através de Espectrofotômetro Varian-Zeeeman modelo 640-Z do Laboratório Núcleo de Águas (LANAGUA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os resultados foram submetidos à análise estatística e de correlação de Pearson utilizando o Excel 2016 e programa SPSS Statistics 20.0.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise de pH, M.O e metais pesados no solo

Os solos brasileiros, de modo geral, são considerados ácidos devido ao intenso intemperismo tropical das rochas, à presença de ácidos orgânicos e inorgânicos ou à decomposição de materiais orgânicos.³²

Os valores de pH, M.O. e metais pesados determinados nas amostras de solo coletadas a 0,20m de profundidade nos 8 pontos da área no entorno do lixão estão apresentados na Tabela 1.

Observa-se que o pH em água das amostras variaram entre 6,4 (nos pontos 1 e 3) a 7,5 (no ponto 5) com predominância da faixa levemente ácida. Esses valores de pH estão acima dos observados por Campos et al. (2012)³³ em amostras de argissolos coletadas em áreas naturais, neste estudo os autores constataram uma variação de 4,6 a 5,3 no pH das amostras coletadas na profundidade entre 0-28 cm. Esta diferença nos valores do pH da área do entorno do lixão com o da área natural sugerem que os solos do entorno do lixão estão sendo influenciados pela decomposição de compostos provenientes do lixão. Estudo realizado por Oliveira e Jucá (2004)³⁴ evidenciaram que em amostras de solo coletadas próximas ao lixo, o pH apresentava-se com valores variando entre 6 a 7,2, conforme verificado no presente trabalho. Os resultados do pH revelam que o ponto 1 e 3 estão sofrendo maior influência da contaminação do descarte inadequado dos resíduos sólidos.

Tabela 1. Valores de pH, M.O. (g kg^{-1}) e concentrações dos metais pesados Cu, Zn, Pb, Mn, Cr, Fe, Cd, Ni (mg Kg^{-1}) e metais alcalinos por amostra de solo na profundidade de 0-20 cm

Amostra	pH	Concentração de metais (mg Kg^{-1})									MO (g.kg^{-1})
		Cu	Cd	Pb	Mn	Cr	Fe	Zn	Co	Ni	
1	6,4	n.d	n.d	5	n.d	n.d	204,1	4,6	n.d	n.d	14
2	6,5	109,1	n.d	7,5	43,6	n.d	382,6	14,7	n.d	n.d	8
3	6,4	117,1	n.d	36,2	104	8,8	695,1	402,2	n.d	n.d	60
4	6,6	39,8	n.d	45	132,2	18,2	1229,3	295,8	n.d	n.d	51
5	7,5	54,1	n.d	12,5	n.d	13,3	543,6	38,7	n.d	n.d	34
6	7,2	4,7	n.d	6,2	22,5	18,2	236,2	n.d	n.d	n.d	8
7	6,9	182,6	n.d	392,5	24,2	9,1	1002,5	105,4	n.d	n.d	26
8	6,8	66,1	n.d	33,7	42,1	27,2	982,3	232,1	n.d	n.d	32
Média	6,8	71,7	n.d	67,3	46,1	11,9	659,5	136,7	n.d	n.d	29

n.d= não detectado.

Na Tabela 1 também estão expostas as concentrações dos metais encontrados no solo do entorno lixão do município de Iguatu em mg Kg^{-1} . Maiores níveis dos metais analisados foram verificadas para Fe e Zn, com máximos de até $1229,38 \text{ mg Kg}^{-1}$ e $402,23 \text{ mg Kg}^{-1}$, respectivamente. Elevados teores de Fe têm sido verificados devido a características naturais do solo da região de Iguatu.³⁵ O Zn pode estar sendo originado pelo descarte de inadequado de pilhas e baterias no lixão e é considerado tóxico em altas concentrações. Os metais Mn e Zn correspondem a aproximadamente 50% em massa da composição média de uma pilha alcalina.³⁶ Maior nível de Zn foi observado no ponto 3, onde o solo apresenta pH mais baixo (6,4), o que favorece a absorção desse metal.³⁷

O Cu e Mn estiveram presentes nas amostras de solo em concentrações de n.d.- $182,6$ e n.d.- $132,2 \text{ mg Kg}^{-1}$, respectivamente. O Cu é usado em equipamentos eletrônicos, em encanamentos de água e em defensivos agrícolas como algicida (sulfato de cobre).³⁸ Bonai *et al.* (2009)³⁹ encontraram níveis elevados de Cu ($151,60$ - $233,95 \text{ mg Kg}^{-1}$), Mn ($1.895,60$ - $2.663,60 \text{ mg Kg}^{-1}$), Fe ($82.552,7$ - $137.243,5 \text{ mg Kg}^{-1}$) e Zn ($177,52$ - $307,65 \text{ mg$

Kg^{-1}), nos sedimentos do reservatório do Itá – Santa Catarina. A localidade possui grande quantidade de criação de porcos, e isso tem gerado graves problemas de poluição. Segundo o referido autor, elevados níveis de Fe e Mn têm sido relacionados às características naturais associadas à criação de porcos na região, além de destacar a influência de atividades agrícolas como causa das altas concentrações de Cu e Zn. Resíduos agrícolas e da pecuária também podem estar influenciando na contaminação por metais (Cu, Zn e Mn) no solo da região de Iguatu-CE.

O Cr foi detectado em níveis variando de n.d.- $27,2 \text{ mg Kg}^{-1}$. Cromo ocorre no ecossistema como resultado da intemperização do material de origem dos solos e pode ser introduzido através de deposições de resíduos de origem industrial como curtumes e siderurgias.⁴⁰ Marques (2011)⁴¹ detectou nível similar de Cr no solo (0-20 cm) do aterro sanitário de Campo Belo-MG ($21,09 \text{ mg Kg}^{-1}$) e Elói Mendes-MG ($20,72 \text{ mg Kg}^{-1}$).

O Pb foi encontrado em todas as amostras analisadas, atingindo níveis elevados ($392,5 \text{ mg Kg}^{-1}$). Metais tóxicos, como o Pb, representam maior risco ambiental, devido às capacidades de migração, bioacumulação

e biomagnificação.³⁶ Em um estudo realizado por Cavallet *et al.* (2013)⁵ em Paranaguá-PR, encontraram valores médios de Pb (28,5 mg Kg⁻¹) similares aos detectados neste estudo (67,3 mg Kg⁻¹).

Já os metais Ni, Cd e Co não foram detectados (<LD) nas amostras investigadas no solo das proximidades do lixão de Iguatu-CE

Em relação a análise da M.O., os resultados das amostras apresentaram valores entre 8 e 60 g.kg⁻¹ com maiores níveis observados nos pontos 3, 4 e 5. A matéria orgânica está associada ao descarte de carcaças de animais e a restos de alimentos, que se decompõe por meio da ação dos microorganismos naturalmente presentes no solo.²³ Campos et al (2012)³³ constataram valores entre 11 a 12 g kg⁻¹ de M.O em um solo Argissolo não contaminado, estando esses níveis bem abaixo do observado neste estudo. Esse maior nível de matéria orgânica pode exercer influência na contaminação do solo por metais provenientes do lixão de Iguatu.

3.2. Correlação de Pearson

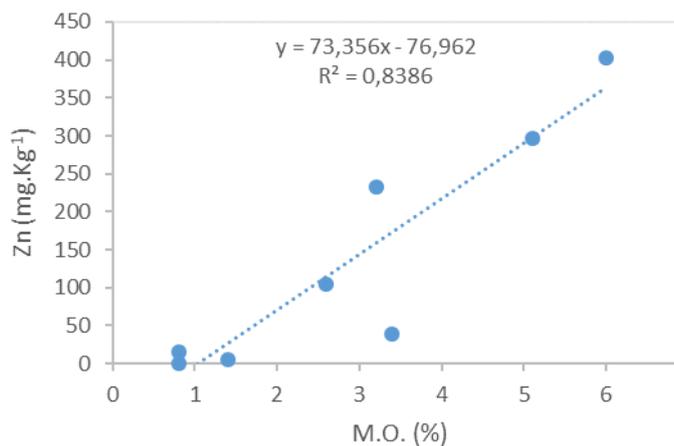
Para verificar a correlação existente entre o nível de metais e a M.O. do solo foi utilizada a análise de correlação de Pearson, apresentados nas Figuras 2(a), 2(b), 2(c), 2(d), 2(e) e 2(f), para os metais detectados neste

estudo. A Tabela 2 mostra a matriz de correlação de Pearson para os metais aqui analisados e a M.O. (%).

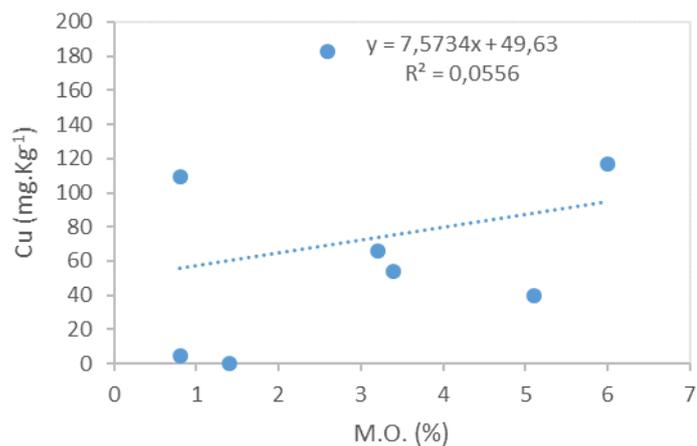
A matéria orgânica pode adsorver esses metais facilmente por causa de suas características físicas como textura fina dos sedimentos que naturalmente possui material húmico em decorrência da decomposição de animais, restos de comida, plantas, dejetos, dentre outros comumente encontrados em “lixões”.

É possível verificar maiores correlações com a M.O. para os metais Zn, Mn e Fe, indicando influência na retenção do metal no solo e conseqüentemente na poluição do mesmo. Maiores valores de MO no solo da região de Iguatu foram observados nos pontos 3 e 4 (60 e 51 g.kg⁻¹ respectivamente), onde também foram observados elevados níveis de Fe, Zn e Mn.

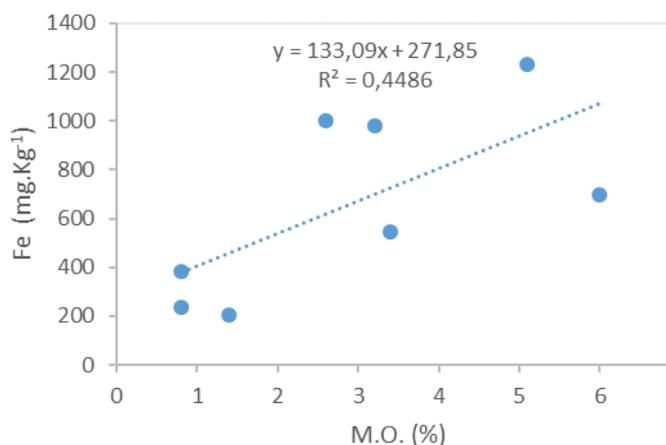
Por outro lado, os metais Cr, Cu e Pb, obtiveram menores valores de correlação e portanto, apresentam pouca interação com a MO, havendo maior mobilidade no solo e podendo chegar a contaminar o lençol freático da região. De acordo com Mendes (2012),⁴² os elementos Cr, Cu e Pb competem entre si pelos sítios de adsorção da MO no solo. Os níveis de Cr⁺² e Cu⁺² interferem inversamente ao do íon Pb⁺² diminuindo este último a ser adsorvido no solo. De acordo com o autor, um ou ambos os metais deslocam o Pb⁺² dos sítios de adsorção e os ocupam.



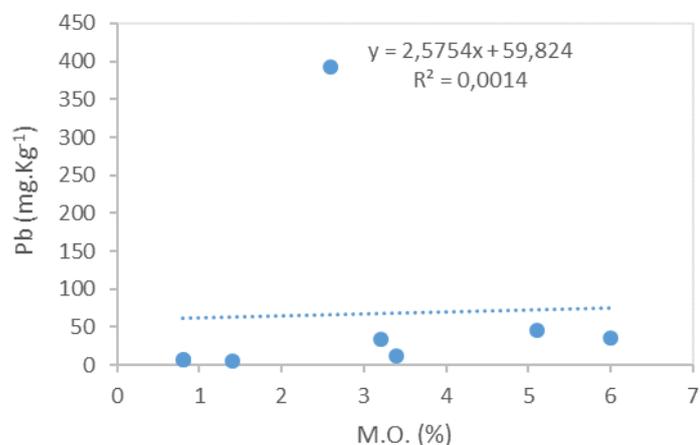
(a)



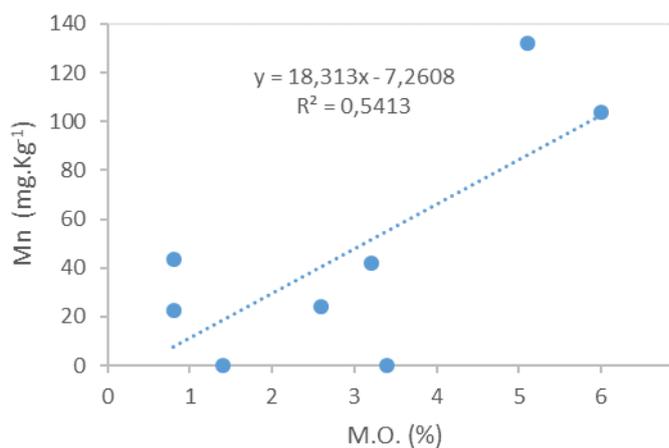
(b)



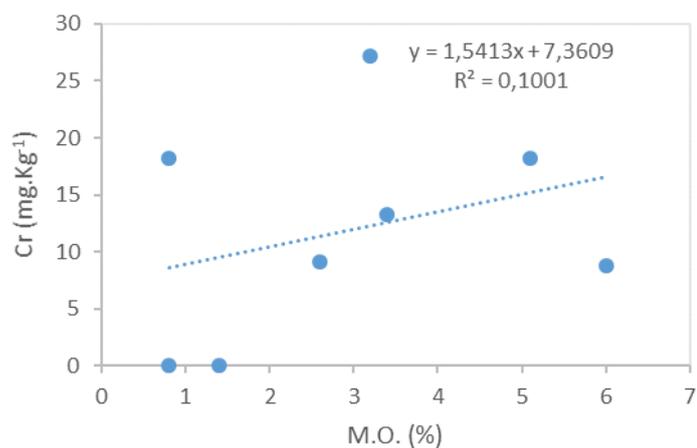
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2. Correlação entre M.O. e (a) Zinco, (b) Cobre, (c) Ferro, (d) Chumbo, (e) Manganês e (f) Cromo

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson baseadas nas concentrações de metais tóxicos presentes no solo

Variáveis	MO
Zn	0,916**
Mn	0,736*
Fe	0,670
Cr	0,316
Cu	0,236
Pb	0,037

**Correlação significativa ao nível de 1 % de significância *Correlação significativa ao nível de 5 % de significância

3.3. Avaliação dos riscos ambientais e humanos

As concentrações dos metais pesados presentes nas amostras de solo foram comparados com os valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas estabelecidas pela Resolução do CONAMA 420/ 2009,⁴ descritos na tabela 4.

Nas amostras de solo em estudo foram encontrados valores de metais que ultrapassaram os estabelecidos pela legislação CONAMA 420/2009.⁴ Níveis de Cu maiores que o valor de prevenção (VP=60 mg Kg⁻¹) foram detectados nas amostras 2, 3, 7 e 8, indicando que há uma alteração na qualidade do solo. Isso sugere que a ação antrópica pelo descarte de vários RSU está afetando o solo do município de Iguatu proporcionando riscos a comunidades vizinhas. Valor acima do nível máximo estabelecido para o Zn (VP= 300 mg Kg⁻¹) foi observado apenas na amostra 3 (402,2 mg Kg⁻¹).

Maior concentração de Pb (392,5 mg Kg⁻¹) foi verificado na amostra 7, estando acima do VI (residencial). Isso implica dizer que os níveis de poluição deste metal estão sendo alterados devido à ação antrópica do homem no depósito de lixo. Todas as amostras

apresentaram valores de Cr menor que o VP=75 mg Kg⁻¹. Os metais Fe e Mn não possuem ainda limites estabelecidos pela legislação CONAMA 420/2009.⁴

Os níveis encontrados neste trabalho para os metais pesados estão, de maneira geral, proporcionando riscos à saúde pública. Se considerarmos que esse quadro se estenda, em um período de médio e longo prazo, os níveis de tóxicos desses metais podem causar graves danos à saúde humana.

O Pb é um dos metais tóxicos apresentados nesse estudo, com níveis preocupantes, chegando a ultrapassar o valor de intervenção em uma das amostras (ponto 7). Segundo Moreira e Moreira (2004),⁴³ Pb pode causar problemas neurológicos graves em adultos e principalmente em crianças causando efeitos permanentes como graves diminuição do Q.I. e deficiência cognitiva. De acordo com o autor uma quantidade equivalente a 10 µg L⁻¹ no sangue de uma criança e 40 µg dL⁻¹ para os adultos são suficientes para afetar o sistema nervoso.

Para um manejo eficaz dos RSU faz-se necessário conscientizar a população e os órgãos competentes que são responsáveis pela coleta, que o lixo é composto de diferentes tipos de materiais e que precisam de tratamento adequado.

Tabela 3. Valores de referência de qualidade (VRQ), valores de prevenção (VP) e valores de intervenção (VI) estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 para os metais em solo⁴

Solo (mg Kg ⁻¹ de peso seco)			
Substância	VRQ	Valor de Prevenção (VP)	Valor de Intervenção (VI)
Cu	E	60	400
Zn	E	300	1000
Pb	E	72	300
Mn	E	-	-
Cd	E	1,3	8
Cr	E	75	300
Ni	E	30	100
Fe	E	-	-
Co	E	25	65

E= a ser definido pelo Estado.

4. Conclusão

A análise de amostras do solo do entorno do Lixão do município de Iguatu, Ceará, mostraram características levemente ácida e teor de M.O. variando de 8-60 g kg⁻¹. Foram verificadas presença dos metais Cu, Pb, Mn, Cr, Fe e Zn. Com base nos resultados estatísticos da correlação de Pearson foi possível verificar que a M.O. exerce influência na retenção dos metais pesados Zn, Mn e Fe no solo. Já os metais Cr, Cu e Pb tem pouca interação com a matéria orgânica, podendo ter maior mobilidade no solo e chegar a atingir o lençol freático. As concentrações encontradas dos metais Cu, Zn e Pb no solo mostraram-se acima dos limites estabelecidos pela resolução da CONAMA 420/2009.

A situação de forma geral do “lixão” do município de Iguatu vem comprometendo a qualidade do solo da região, servindo de alerta para que os órgãos governamentais adotem medidas de monitoramento dos metais aqui estudados visando assegurar a saúde humana. O destino dos RSU tem sido

considerado um problema que requer planejamento para que se possa criar e implementar medidas de descarte adequado do lixo, bem como o aperfeiçoamento do sistema de coleta vigente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório Núcleo de Águas (LANAGUA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) pela infraestrutura concedida para análise e ao IFCE pela apoio financeiro à pesquisa.

Referências Bibliográficas

¹ Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais-ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. 1^a ed. São Paulo: Abrelpe 2014.

² SANETAL. Plano Municipal de gestão Integrada de Resíduos sólidos de Fortaleza-Estado do Ceará. 2012. Disponível em:

- <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/>. Acessado em 15 agosto 2017.
- ³ BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. *Política Nacional de resíduos Sólidos* 2010.
- ⁴ CONAMA. *Conselho Nacional do Meio Ambiente*. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009.
- ⁵ Cavallet, L. E.; de Carvalho, S. G.; Fortes Neto, P.; Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. *Revista Ambiente e Água* **2013**, *8*, 229. [CrossRef]
- ⁶ Souza, A. O. A.; Castro, H. S.; Silva, N.; Braga, E. A. S.; Milhome, M. A. L. The discharge of effluents and the contamination by toxic metals and organic matter in lake of semiarid northeast Brazil. *Holos* **2016**, *7*, 171. [CrossRef]
- ⁷ Lima, I. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2012. [Link]
- ⁸ Gu, Y. G.; Lin, Q.; Gao, Y. Metals in exposed-lawn soils from 18 urban parks and its human health implications in southern China's largest city, Guangzhou. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *115*, 122. [CrossRef]
- ⁹ Yi, Y.; Yang, Z.; Zhang, S. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution* **2011**, *159*, 2575. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁰ Xu, F.; Qiu, L.; Cao, Y.; Huang, J.; Liu, Z.; Tian, X.; Li, A.; Yin, X. Trace metals in the surface sediments of the intertidal Jiaozhou Bay, China: Sources and contamination assessment. *Marine Pollution Bulletin* **2016**, *104*, 371. [CrossRef] [PubMed]
- ¹¹ Wei, B.; Yang, L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal* **2010**, *94*, 99. [CrossRef]
- ¹² Agomuo, E. N.; Amadi, P. U. Accumulation and toxicological risk assessments of heavy metals of top soils from markets in Owerri, Imo state, Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* **2017**, *8*, 121. [CrossRef]
- ¹³ da Silva, G. S.; Corrêa, L. B.; Marques, A. L. B.; Marques, E. P.; Nunes, M. L. F.; Sousa, E. R.; Silva, G. S. The role of metals and their fractions in the Bacanga River Estuary: an Example of the anthropogenic interference in a Tropical Ecosystem. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 1130. [CrossRef]
- ¹⁴ Sun, Y.; Zhou, Q.; Xie, X.; Liu, R. Spatial, source 90 pçs and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials* **2010**, *174*, 455. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁵ Marques, R. F. P. V.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Lavras de Minas Gerais, Brasil, 2011. [Link]
- ¹⁶ Teh, T.; Norulaini, N. A. R.; Shahadat, M.; Wong, Y.; Mohd Omar, A. K. Risk assessment of metal contamination in soil and groundwater in Asia: A Review of recent trends as well as existing environmental laws and regulations. *Pedosphere* **2016**, *26*, 431. [CrossRef]
- ¹⁷ Chen, H.; Chen, R.; Teng, Y.; Wu, J. Contamination characteristics, ecological risk and source identification of trace metals in sediments of the Le'an River (China). *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2016**, *125*, 85. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁸ Mazhari, S. A.; Attar, R. S.; Haghighi, F.; Heavy metals concentration and availability of different soils in Sabzevar area, NE of Iran. *Journal of African Earth Sciences* **2017**, *134*, 106. [CrossRef]
- ¹⁹ Santos, G. C. G.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2005. [Link]
- ²⁰ de Oliveira, R. C. B.; Marins, R. V. Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente Aquático: Revisão. *Revista Virtual de Química* **2011**, *3*, 88. [CrossRef]
- ²¹ Zeng, F.; Ali, S.; Zhang, H.; Ouyang, Y.; Qiu, B.; Wu, F.; Zhang, G. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by

- rice plants. *Environmental Pollution* **2011**, *159*, 84. [CrossRef] [PubMed]
- ²² 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. *Applied Geochemistry* **2016**, *66*, 264. [CrossRef]
- ²³ Oliveira, B. R.; *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Brasil, 2012. [Link]
- ²⁴ Kwiatkowska-Malina, J. Functions of organic matter in polluted soils: The effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology* **2018**, In Press. [CrossRef]
- ²⁵ Lopes, C. M.; *Dissertação de Mestrado*, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Piracicaba, Brasil 2009 [Link]
- ²⁶ Joris, H. A. W.; Fonseca, A. F.; Asami, V. Y.; Briedis, C.; Borszowski, P. R.; Garbui, F. J. Adsorção de metais após calagem superficial em um latossolo vermelho sob sistema de plantio direto. *Revista Ciência Agronômica* **2012**, *43*, 1. [Link]
- ²⁷ Borges, M. R.; Coutinho, E. L. M. Metais Pesados do Solo após Aplicação de Biossólido. I - Fracionamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2004**, *28*, 543. [CrossRef]
- ²⁸ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230550>>, Acessado em 02/08/2017.
- ²⁹ EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª.ed. Rio de Janeiro: 2006.
- ³⁰ EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. 2ª ed., Rio de Janeiro 1997. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk_02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>. Acessado em 14 agosto 2017
- ³¹ USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. Method 3051A. Disponível em: <<https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-soils-and-oils>>. Acessado em 08 agosto 2017.
- ³² Barbosa, A. A.; Corrêa, S. M. Caracterização Química de solo contaminado por resíduos sólidos urbanos na estrada arroio Pavuna em Japarepaguá no município Rio de Janeiro. *Envevista* **2015**, *17*, 265. [Link]
- ³³ Campos, M. C. C.; Montanari, R.; Marques Junior, J.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M.; Caracterização de Argissolos em diferentes segmentos de vertente na região de Jaboticabal, SP. *Revista de Ciências Agrárias* **2012**, *55*, 251. [Link]
- ³⁴ Oliveira, F. J. S.; Jucá, J. F. T. 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* **2004**, *9*, 211. [CrossRef]
- ³⁵ Cavalcante, I. N.; Parente, R. C.; Gomes, M. C. R.; Freitas, L. C. B.; Matta, M. A. S.; Maia, J. T. V. *Resumo do I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste*. Gramado, RS. 2007. [Link]
- ³⁶ Agourakis, D. C.; de 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**, *29*, 960. [CrossRef]
- ³⁷ Alexandre, J. R.; Oliveira, M. L. F.; dos Santos, T. C.; Canton, G. C.; da Conceição, J. M.; Eutrópio, F. J. Zilma M A.; Cruz, L. B.; Dobbs, A. C. R. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. *Natureza on line* **2012**, *10*, 23. [Link]
- ³⁸ Bianchin, L.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 2011. [Link]
- ³⁹ Bonai, N. C.; Souza-Franco, G. M.; Fogolari, O.; Mocelin, D. J. C.; Dal Magro, J. Distribution of metals in the sediment of the Itá Reservoir, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* **2009**, *21*, 245. [Link]
- ⁴⁰ de Freitas, T. C. M.; Melnikov, P. O uso e os impactos da reciclagem de cromo em indústrias de curtume em Mato Grosso do Sul, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2006**, *11*, 305. [CrossRef]
- ⁴¹ Marques, R. F. P. V.; *Dissertação de Mestrado*, Lavras-MG. 2011. [Link]

⁴² Mendes, L. A.; *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Química de São Carlos, Brasil, 2012. [[Link](#)]

⁴³ Moreira, F. R.; Moreira, J. C.; Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu

significado para a saúde. *Revista Panamericana Salud Pública* **2004**, *15*, 119. [[Link](#)]