

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ESTUDO DAS CONCENTRAÇÕES DE CHUMBO DETECTADAS NO SOLO DE OLARIAS NO DISTRITO DE MARAGOGIPINHO, MUNICÍPIO DE ARATUÍPE, BAHIA, BRASIL

* Gustavo Alonso Muñoz Magna¹
Reginaldo dos Santos Almeida¹
Joya Emilie de Menezes Correia-Deur²

A STUDY OF THE LEAD CONTENTS DETECTED IN SOILS FROM ARTESIAN POTTERY ACTIVITIES IN MARAGOGIPINHO TOWN, BAHIA, BRAZIL

Recibido el 26 de octubre de 2018; Aceptado el 30 de abril de 2020

Abstract

This study evaluated the concentrations of lead (Pb) detected in surface soil of artisanal potteries located in the district of Maragogipinho, Aratuípe Town, Bahia, Brazil. Field samples were collected and a portable x-ray fluorescence analyzer (XRF) were used to determined Pb concentrations. The result showed that 62% of artisanal potteries were above the lead limits established by CONAMA N° 420/2009 for residential areas (300 mg/kg). The use of the metal in the vitrification ceramic process, the release of this element in the firing step and the inadequate disposal of broken pieces in a landfill were identified as the main sources of soil contamination by Pb. The concentration values detected near the potteries indicated that the a larger portion of soil was contaminated by Pb from the artisanal ceramic activities carried out in that location.

Keywords: lead, artisanal potteries, contamination, soils.

¹ Núcleo de Estudos em Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia e Ciências (UnifTC), Brasil.

¹ Ecolbio Consultoria, Brasil.

¹ Blacksmith Institute, Brasil.

* *Autor correspondente:* Núcleo de Estudos em Engenharia Ambiental, Faculdade de Tecnologia e Ciências (UnifTC). Av. Luis Viana Filho, 8812 – Paralela, Salvador, Bahia. 41741-590. Brasil. Email gmagna.ssa@ftc.edu.br

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as concentrações de chumbo (Pb) detectadas no solo superficial de olarias artesanais, localizadas no distrito de Maragogipinho, cidade de Aratuípe, Bahia, Brasil. Para a avaliação dos teores foram realizadas coletas em campo e utilizado um analisador portátil de fluorescência de raios X (XRF). 62% dos valores do metal encontrados no solo superficial das olarias superaram os valores de investigação, para áreas residências, definidas pela resolução CONAMA 420/2009. Foram identificadas como principais fontes de contaminação de Pb para o solo, o uso do metal no processo de vitrificação, a liberação desse elemento na etapa de cozimento e, o descarte inadequado, na forma de aterro, de peças vitrificadas quebradas. A partir da avaliação realizada observou-se que grande parte do solo do conjunto das olarias analisadas encontra-se contaminado por Pb devido, à forte pressão das atividades cerâmicas artesanais realizadas no local.

Palavras chave: chumbo; olarias; contaminação, solo.

Introdução

O distrito de Maragogipinho, localizado no município de Aratuípe, estado da Bahia, Brasil, é considerado um dos maiores polos de cerâmica popular do Brasil e o maior polo de cerâmica artesanal da América Latina (Cunha, 2014). A localidade é habitada principalmente por pescadores e famílias de artesãos ceramistas, conhecidos popularmente como oleiros, que perpetuaram ao longo do tempo a cerâmica como principal atividade do distrito (Barbosa, 2003; Calaresi, 2014). De acordo com Rabelo (1919), as atividades de fabricação cerâmica desempenharam um marcante papel na constituição do povoado. Da mesma forma, Pereira (1957) apresentou evidências que a atividade na região já existia há mais de trezentos anos. Atualmente o artesanato em Maragogipinho é responsável por mais que 50% de toda receita bruta gerada no município.

O processo produtivo para a obtenção de peças cerâmicas artesanais, baseia-se na transformação das propriedades físico-químicas da argila em locais denominados de olarias. Segundo Barbosa (2003), as olarias geralmente são caracterizadas por infraestrutura precária, onde normalmente o piso é de barro batido e misturado com barro trazido para produção, as paredes estão constituídas por ripas de madeira ou grades de bambu, e o telhado é de palha ou telhas. Quase a totalidade das olarias no distrito foram construídas sob solo de transição entre ambiente terrestre e marinho, conhecido como mangue (Neto, 2008). Na Figura 1(a) e (b) pode se observar parte do ambiente interior de uma olaria de Maragogipinho.

Segundo Amorin (2016), no distrito de Maragogipinho existem aproximadamente cento e cinquenta (150) oleiros associados, entretanto, a atividade oleira poderia chegar a abranger quase o total da população local devido a que praticamente em todas as residências existem artesãos que confeccionam peças, dando origem a oficinas cerâmicas chamadas de olarias de fundo de quintal.



Figura 1. a) Ambiente interior de una olaria; b) Forno de cozimento de peças cerâmicas.

A cadeia produtiva, para confecção artesanal de peças cerâmicas pode ser resumida da seguinte forma, a saber: 1) extração e transporte de lenha; 2) extração e transporte de argila; 3) processo produtivo, compreendendo as operações de preparo de argila, modelagem, secagem, cozimento e armazenamento do produto; e finalmente, 4) transporte e comercialização do produto. O processo tem como principais insumos a argila, lenha, água e o chumbo (Pb). A fabricação de peças cerâmicas artesanais é realizada manualmente, através do auxílio de moldes, tornos e fornos. A produção de peças tem uma duração de aproximadamente seis dias sendo que a comercialização normalmente acontece nas próprias comunidades, nas oficinas de trabalho, em jornadas e/ou feiras, além de locais de maior turismo em determinadas épocas do ano, e mediante a entrega de encomendas.

De acordo com Amorin (2016), a cerâmica artesanal, com o intuito de aproximar-se da industrial, têm adicionado novas técnicas de produção e, nesse contexto, surgiu a utilização do Pb no processo de vitrificação das peças. Na indústria cerâmica o Pb é usado com o principal objetivo de impermeabilizar as peças, além de proporcionar aspectos estéticos diferenciados tais como o realce nas suas cores e a homogeneidade na textura, formando uma superfície lisa, brilhante e resistente. Outro motivo da utilização do Pb está vinculado à baixa temperatura requerida para fundência, que propicia uma economia para os fornos (Allegretti, 2004).

A vitrificação inicia-se com a fundição do Pb até a sua transformação em óxido (PbO), para posteriormente ser misturado ao barro, obtendo como produto a *lamugem*. Assim que obtida, a *lamugem* é aplicada manualmente nas peças, que em seguida são levadas ao forno para cozimento entre 10 a 12 horas (Neto, 2008; Menezes Filho, 2015). De acordo com Neto (2008), o processo de utilização do Pb ocorre informalmente no interior das olarias, sem os devidos cuidados, em um ambiente fechado e na ausência de uma adequada circulação de ar que permita uma melhor dispersão da fumaça gerada. É nesta etapa que acontece a primeira interação entre

o elemento e a atmosfera interior do local, para posteriormente ser depositado no solo pela ação da força de gravidade.

Segundo Voutsas *et al.* (1996), os metais provenientes de fontes antropogênicas entram no ambiente e seguem os ciclos biogeoquímicos normais no solo. Ao contrário dos contaminantes orgânicos, estes elementos não são degradáveis e, apesar de apresentar alguma mobilidade no meio ambiente, a contaminação é relativamente estável e persistente ao longo do tempo (Kabata-Pendias, 2001; Efron *et al.*, 2004). Em relação ao Pb, Zeng *et al.* (2007) reportam que é o metal poluente mais abundante no solo. Ainda, o Pb não tem uma função biológica conhecida, e é considerado um elemento tóxico não essencial, cumulativo e provável cancerígeno para seres humanos pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 2020).

O solo acumula e concentra os metais, devido a sua capacidade de retenção, principalmente nas camadas superficiais e que correspondem à parte biologicamente mais ativa do solo (Galán e Romero, 2008). Desta forma, os metais presentes nestas camadas podem ser transferíveis para os seres humanos pela ingestão e inalação de partículas contendo o contaminante, sejam elas provenientes diretamente do solo ou de poeiras, e mediante o consumo de alimentos vegetais cultivados em áreas com elevados níveis de Pb.

O conhecimento das concentrações de Pb em solos sob influência de atividades oleiras é de suma importância, pois permite avaliar, ainda que de forma semi-quantitativa, os atuais níveis deste elemento no solo, melhor caracterizando a presença de contaminação pelo metal na área. Vale ressaltar, que no Brasil, apesar de ser considerada uma atividade tradicional, são escassos os estudos sobre contaminação ambiental relacionados a atividades artesanais de fabricação de cerâmica.

Este trabalho apresenta e analisa resultados de concentrações de Pb encontradas no solo superficial de um conjunto de olarias localizadas no distrito de Maragogipinho, cidade de Aratuípe, Bahia, Brasil.

Metodología

Área de estudo

A região alvo de investigação compreendeu um conjunto de vinte e seis (26) olarias, estando uma (1) desativada, abrangendo uma área total de aproximadamente 1.23 ha (12300 m²). Também foram consideradas na avaliação três áreas sem a influência direta da atividade cerâmica, correspondendo a duas praças e uma área localizada na entrada da cidade. Em função da proximidade da distância entre olarias, essas foram agrupadas a cada duas conformando 14 subáreas de avaliação (13 ativas e 1 inativa). Na Figura 2 se apresenta a área de estudo.

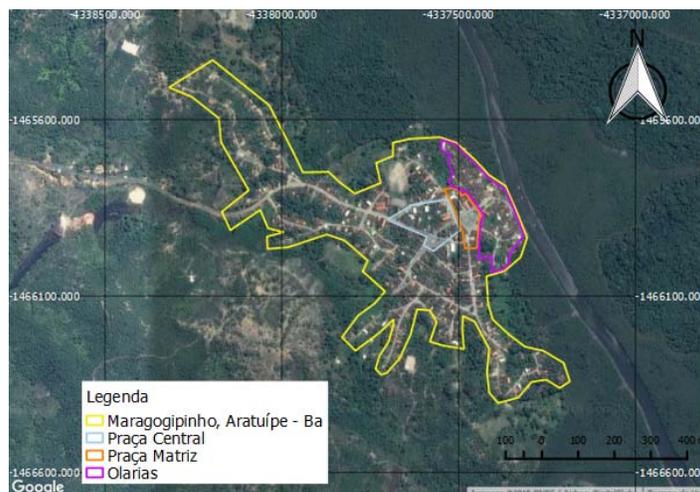


Figura 2. Área de estudo

Campanhas em campo

As atividades de campo constaram principalmente da identificação preliminar da área de estudo e posterior coleta de amostras de solo superficial nas olarias. As campanhas para coleta de solo e a determinação da concentração de Pb foram realizadas no período compreendido entre os meses de setembro a outubro de 2017. Destaca-se que no momento da coleta de amostras, as olarias se encontravam em operação, de forma a representar as condições normais de funcionamento das atividades. Na Figura 3 pode se observar parte das campanhas em campo realizadas.



Figura 3. Campanhas em campo

Amostragem e determinação de Pb no solo superficial

Foram coletadas um total de 116 amostras de solo superficial (primeiros 20 cm), acondicionadas em sacos plásticos contendo uma alíquota de aproximadamente 100 gramas para posterior determinação da concentração de Pb. Todas as amostras foram devidamente identificadas segundo local de coleta (olarias e/ou áreas sem influência das atividades cerâmicas).

Na obtenção do teor de Pb no solo das olarias, foi utilizada uma técnica de análise elementar, não destrutiva, mediante o emprego em campo de um equipamento analisador portátil de fluorescência de Raios X (XRF), modelo Delta Professional da marca OLYMPUS, com precisão de análise de aproximadamente 97%. Este equipamento portátil é capaz de medir de forma instantânea 21 metais em matrizes sólidas e semissólidas de solo, possuindo um tempo de resposta entre 15 a 30 segundos.

Resultados

Os resultados médios, obtidos na determinação da concentração de Pb no solo das 13 subáreas, sob influência das olarias ativas, se apresentaram na faixa de 91.33 mg/kg a 16727.20 mg/kg, com um conteúdo médio de 2029.53 mg/kg. Todos os valores médios foram detectados acima do valor de prevenção de 72.00 mg/kg (Brasil 2009). 62% das subáreas avaliadas exibiram valores médios superiores a 300.0 mg/kg (valor de investigação para áreas residenciais), e cinco apresentaram teores médios acima do valor de investigação para área industrial (900.00 mg/kg), ambos limites definidos pela resolução CONAMA 420 de 2009. É importante destacar que o valor médio máximo detectado supera em aproximadamente 56 vezes, o valor tido como de investigação para áreas residenciais, valor acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

Ressalta-se que o valor mínimo médio de concentração de Pb, detectado no solo das subáreas de estudo corresponde a uma olaria desativada há mais de cinco anos e que após encerramento das atividades passou por um processo de limpeza (valor médio de 35,25 mg/kg). Na Tabela 1 se apresentam os conteúdos de Pb detectados no solo das subáreas de estudo.

As diferenças encontradas nos valores de concentrações de Pb no solo entre olarias, podem ter explicação em parte, a fatores associados à frequência de limpeza dos locais de trabalho, intensidade e frequência das atividades de fabricação cerâmica, e à forma de descarte de peças quebradas no processo de fabricação (diretamente no solo ou retiradas do local).

Por outro lado, as concentrações detectadas em áreas sem a presença direta das olarias se apresentaram na faixa de 15.00 mg/kg a 21.00 mg/kg. Já na área da entrada à cidade os valores de Pb foram detectados entre 12.00 mg/kg a 69.00 mg/kg. Todos os valores, dessas áreas (sem influência), foram detectados abaixo do valor de investigação para áreas residenciais (300.00

mg/kg) e sempre menores aos valores médios detectados nas subáreas avaliadas, excluindo a olaria desativada. Na Tabela 2 mostram-se os resultados para essas áreas.

Tabela 1. Conteúdo de chumbo detectado no solo de olarias ativas do distrito de Maragogipinho, cidade de Aratuípe, Bahia, Brasil.

Subárea	Concentração de Pb no solo (mg/kg)				
	média	min	máx	DP	n
1	1368.63	309.00	3342.00	1177.01	8
2	16727.20	328.00	70400.00	30057.92	5
3	400.38	39.00	1421.00	430.13	8
4	2422.63	167.00	5186.00	1740.90	8
5	827.00	66.00	44500.00	15355.96	8
6	305.00	38.00	11700.00	4616.17	6
7*	35.25	22.00	52.00	12.42	4
8	1600.50	25.00	11400.00	3962.93	8
9	213.25	17.00	480.00	222.97	4
10	91.33	17.00	335.00	120.55	6
11	167.29	16.00	474.00	181.48	7
12	1668.00	40.00	4722.00	1845.31	8
13	109.86	26.00	421.00	142.96	7
14	482.86	54.00	1406.00	432.88	7
**Resumo	2029.53	16.00	70400.00	4477.75	94

*Olaria desativada; **O resumo exclui os valores de Pb no solo detectados na olaria desativada; min: mínimo; máx: máximo; DP: desvio padrão; n: número de amostras.

Tabela 2. Conteúdo de chumbo detectado no solo de áreas sem a influência direta das olarias do distrito de Maragogipinho, cidade de Aratuípe, Bahia, Brasil.

área	Concentração de Pb no solo (mg/kg)				
	média	min	máx	DP	n
1	45.57	15.00	84.00	20.86	8
2	45.71	21.00	94.00	23.98	7
3	30.71	12.00	69.00	24.83	7
Resumo	40.66	12.00	94.00	23.22	22

min: mínimo; máx: máximo; DP: desvio padrão; n: número de amostras.

Da análise realizada, é possível observar que um grande percentual das olarias ativas está contribuindo para os elevados valores médios de Pb detectados no solo da área de estudo, considerando a natureza artesanal da atividade. Destaca-se que o solo da área é também destinado para fins agrícolas, sendo que grande parte das residências possuem hortas e fazem uso para consumo próprio e/ou venda a terceiros, situação que caracteriza um potencial risco pela provável transferência do contaminante desde o solo para os vegetais.

Estrada-Sanchez *et al.* (2017) avaliaram as concentrações de Pb no solo superficial de oficinas cerâmicas artesanais no México, observando que mais de 50% das oficinas cerâmicas analisadas apresentaram leituras máximas que superaram os 5000.00 mg/kg. Os valores apresentados tanto no presente estudo quanto por Estrada-Sanchez *et al.* (2017), evidenciam a contribuição dessas atividades na elevação das concentrações de Pb no solo superficial.

Altos teores de Pb no solo são de extrema preocupação devido a que, a ingestão de solos e poeiras contaminadas é considerada a principal via de exposição ao Pb pelos seres humanos (Bosso e Enzweiler, 2008). Tanto as crianças quanto os adultos são suscetíveis aos efeitos na saúde por exposição ao Pb, entretanto as vias de exposição e os efeitos podem ser bastante diferentes e se faz importante distinguir, entre adultos e crianças, devido à diferença de suscetibilidade entre esses dois grupos (Moreira e Moreira, 2004).

Cunha *et al.* (2006), mencionam que as crianças estão mais expostas em regiões apresentando contaminação ambiental, devido ao seu comportamento e fisiologia, enquanto os adultos estão mais expostos nas atividades de trabalho, como indústrias e refinarias. A presença de transtornos de tipo alimentar, estado de saúde, além do contexto socioeconômico são também fatores que facilitam a exposição das crianças.

Potenciais efeitos na saúde de crianças são associados a concentrações de Pb medidas no sangue (Pb-S), e relacionam-se a déficits comportamentais e intelectuais, retardo no crescimento e desenvolvimento, problemas de audição e fala, baixo desempenho cognitivo e principalmente diminuição no quociente de inteligência (QI) (Coria *et al.*, 2009; Lailaw *et al.*, 2011; Lo *et al.*, 2012; Plumlee *et al.*, 2013, Estrada-Sanchez *et al.*, 2017).

Nesse sentido, o National Toxicology Program (NTP, 2012) dos EUA afirmou que existe suficiente evidência científica de que níveis de Pb-S, menores a 5.0 µg/dL, estão associados a efeitos adversos sobre a saúde humana tais como déficits neurocomportamentais, diminuição do desempenho escolar e quociente de inteligência (QI).

Importante é destacar que possivelmente não exista um valor limite considerado seguro, para as concentrações de Pb no organismo humano onde a partir deste se comece a observar os efeitos adversos na saúde das crianças (CDC, 2017; WHO 2017). Nessa perspectiva se faz necessária uma adequada identificação, monitoramento, controle e/ou eliminação das fontes de contaminação de Pb na área de estudo.

Analisando o processo artesanal de fabricação de cerâmicas em Maragogipinho, identifica-se que a principal fonte de contaminação de Pb para o solo das olarias, provavelmente corresponde ao lançamento de material particulado, que ocorre durante o processo de fundição desse elemento. A fumaça gerada transporta o contaminante pelo ar, que seguidamente se deposita a uma curta distância devido à inexistência de algum dispositivo do tipo chaminé, que possa conduzir o fluxo da emanação produzida. Além disso, diversos obstáculos encontrados no local tais como paredes (ripas de madeira e/ou grades de bambu), telhados (palha ou telhas) e equipamentos facilitam a deposição do particulado.

Outra provável fonte de contaminação do metal para o solo corresponde à liberação do elemento, na etapa de queima de peças a ser vitrificadas (vitrificação). Lima *et al.* (2002) mediram a concentração de chumbo em peças vitrificadas, produzidas em Caruaru, Pernambuco, Brasil, antes e depois do processo de queima e constataram valores de 211.00 a 13660.00 mg/L de chumbo sendo liberado neste processo, estimando uma perda média de 166.00 kg de chumbo por ano.

Da mesma forma, as peças quebradas no processo de vitrificação, também podem ser consideradas como mais uma fonte de liberação de Pb para solo, uma vez que por ser uma produção artesanal e doméstica, o descarte dos resíduos é regularmente realizado no quintal das próprias residências. Nesse sentido, segundo Neto (2008), as olarias de Maragogipinho utilizam os cacos das peças quebradas pelos fornos para a promoção de aterros com a finalidade de expandir o espaço das unidades oleiras.

Nesse sentido, vale ressaltar que as peças vitrificadas apresentam Pb na sua composição. Resultados apresentados por Mahomed *et al.* (1995) mostraram a liberação de Pb em condições ácidas (solução de ácido acético a 4%) durante 24 horas e de temperatura a 30 °C em 14 amostras de peças cerâmicas. Os resultados apresentaram valores de Pb na faixa de 93.60 mg/kg a 358.00 mg/kg. Resultados relacionados às peças cerâmicas fabricadas em Maragogipinho, são apresentados por Costa *et al.* (2017) e Chagas *et al.* (2020), revelando a migração do Pb presente nas panelas cerâmicas para alimentos, quando utilizadas em preparações culinárias. Da mesma forma, Baracho *et al.* (2012) analisou a liberação de Pb num conjunto de nove amostras de peças cerâmicas, sendo quatro peças artesanais, avaliando a extração do metal em condições extremas (diferente do uso doméstico), realizando a extração com uma solução 15% de ácido nítrico (HNO₃). Nesse caso todas as amostras mostraram altos teores de chumbo.

Segundo Chary *et al.* (2007) qualquer metal derivado de fontes antropogênicas está fortemente influenciado pela sua forma, fase e estado de oxidação, ou seja, pela sua especiação. Além disso, o tipo de fonte de contaminação, as características e propriedades do solo são variáveis que determinam a mobilidade dos contaminantes, condicionando sua disponibilidade. Características próprias do solo, tais como o pH, conteúdo de matéria orgânica, minerais de argila, capacidade de troca catiônica (CTC), dentre outros, influenciam na retenção, acumulação e/ou mobilidade do metal neste meio (Oliveira *et al.* 2010, Yan *et al.* 2019).

De acordo com Amorin (2014) as olarias de Maragogopinho estão assentadas em áreas de solos halomórficos, caracterizados por possuir cor acinzentada e/ou preta. Prada-Gamero *et al.* (2004) apontam uma predominância de argila e silte, grande quantidade de matéria orgânica e sais solúveis, além de pH moderadamente ácido para neutro nesse tipo de solos. Partículas finas (silte + argila) apresentam alta capacidade de adsorção de metais, quando comparados com os particulados maiores, em função da presença de cargas elétricas e alta superfície específica (Ferreira *et al.* 2010; Jiang *et al.* 2014).

Prakasa e Swamy (1987), mencionam que a composição mineralógica deste tipo de solos (solos halomórficos) apresenta, com frequência, sequências relativas de minerais de argila correspondentes, principalmente, a montmorilonita > caulinita > illita > clorita. Minerais de argila atuam como importantes coletores e concentradores de metais pesados (Benedetti 1995). Isso ocorre devido a sua elevada superfície específica com carga superficial negativa que permite uma capacidade de troca catiônica entre moderada a alta, aumentando a capacidade de imobilização e retenção de íons metálicos (Lewis, 2009).

De acordo com Ross (1994), a adsorção de metais pelo solo aumenta ao incrementar o conteúdo de argilas, óxidos de Fe e Mn ou matéria orgânica, devido a que os metais no solo podem ser mais facilmente adsorvidos pela ação destes componentes. Os estudos desenvolvidos por Sant'Anna de Araújo (2000), Fonseca *et al.* (2013), Elbana (2013) e Prathumratana *et al.* (2018) confirmam a influência desses componentes no processo de adsorção de Pb pelo solo. Além disso, geralmente, os metais encontram-se retidos em solos de pH básico (Alloway, 1995; Kabata-Pendias e Pendias, 2001; Ginocchio e Narvaez, 2002; Mendoza, 2006). Em contrapartida em solos com pH ácido, estes se apresentam mais solúveis, como observado por Fonseca *et al.* (2009). Alloway (1995), Kabata-Pendias e Pendias (2001) e Brald (2004), mencionam que o pH corresponde à característica do solo que controla fortemente a mobilidade dos metais neste meio.

Silva (2015) avaliando os atributos físico-químicos e os teores ambientalmente disponíveis de metais em solos de manguezais do nordeste do Brasil, obteve valores de pH próximos de neutralidade (6.5 a 8.5). O mesmo autor apresenta outras correlações significativas entre o conteúdo de Pb no solo de manguezais e a fração silte ($r < 0.60$, $p < 0.001$), além do carbono orgânico total (COT) ($r = 0.84$, $p < 0.001$).

A marcante influência das características físico-química dos solos na mobilidade do Pb quando presente nesse meio, pode ser evidenciada através de diversas correlações estatísticas, expostas por Méndez-Romero *et al.* (2003) para um solo classificado como Oxyaquic Xerofluvents. Esse tipo de solos é caracterizado pela predominância de sais tais como NaCl, CaCO₃, sulfatos de Ca e Mg, apresentando uma elevada capacidade de troca catiônica e quantidade considerável de matéria orgânica, além de um pH alcalino. Correlações estatisticamente significativas entre a concentração de Pb no solo e o conteúdo de Fe ($r=0.66$, $p<0.05$) e Mn ($r=0.56$; $p<0.05$), além das frações orgânica ($r=0.34$; $p<0.05$) e de argila ($r=0.31$, $p<0.05$) foram observadas.

Pandamanabhm (1983) menciona que esta condição é devido a que o Pb⁺² é preferencialmente adsorvido pelos óxidos de Fe e Mn do solo. Além disso, esta relação é favorecida no caso de um pH do solo alcalino. Com a primeira o Pb pode formar complexos estáveis e com a fração de argila pode ocupar posições de troca catiônica (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Dessa forma, considerando as características físico-químicas e mineralógicas dos solos holomórficos, espera-se encontrar uma elevada capacidade de adsorção do contaminante pelo solo local, condição que poderia influenciar, em parte, os altos teores de Pb detectados no solo das olarias de Maragogipinho.

Conclusões

Este trabalho apresentou, analisou e discutiu os resultados de concentrações de Pb detectadas em amostras de solo superficial coletadas numa área sob a influência de atividades de fabricação de peças cerâmicas artesanais. Os resultados das análises realizadas resultaram em teores acima do valor de investigação para áreas residências estabelecidas pela resolução CONAMA 420/2009 de 300 mg/kg em 62% das subáreas avaliadas.

Observou-se que as principais fontes de contaminação de Pb para o solo superficial estão relacionadas à natureza artesanal da atividade. Etapas tais como a fundição do Pb, através da liberação de emissões atmosféricas, para sua utilização na vitrificação de peças, a posterior queima das peças vitrificadas em fornos e a utilização e/ou descarte de resíduos (peças quebradas) no solo como aterro, além das características do tipo de solo local, contribuem para os altos níveis de Pb detectados na área.

A avaliação das concentrações de Pb no solo permitiram obter uma aproximação da atual situação na área provocada pelas atividades oleiras, que caso sejam mantidas ou não sejam tomadas as devidas providências, poderão ocasionar a geração de efeitos negativos na saúde humana no curto e longo prazo.

Recomenda-se ampliar os estudos para avaliar a mobilidade do contaminante no solo, a detecção do elemento na poeira domiciliar, alimentos vegetais cultivados na área e no sangue da população local.

Agradecimentos

A realização do trabalho foi possível graças ao apoio das equipes do Blacksmith Institute, Ecolbio Consultoria, Núcleo de Estudos em Engenharia Ambiental da FTC (NEEA-FTC) e a população do distrito de Maragogipinho-BA.

Referências bibliográficas

- Allegretti, C. A. L. (2004) *Qualidade, Produtividade e Meio Ambiente: Uma Proposta para o Desenvolvimento de um Revestimento Cerâmico Livre de Chumbo*, Tese de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 66 pp.
- Alloway, B. J. (1995) *Heavy Metals in Soils*, 2a ed., Blackie Academic & Professional, EUA, 386p.
- Amorin, C. R. (2016) *Impactos Ambientais e Sustentabilidade da Atividade Oleira no distrito de Maragogipinho, Município de Aratupe, Bahia*, (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 100 pp.
- Barbosa, A. G. A. (2003) *Arranjos Sócios Produtivos Locais e Desenvolvimento – Estudo de Caso das Pequenas Empresas Oleiras de Maragogipinho-BA*, Tese de mestrado, Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 177 pp.
- Benedetti, M. F., Milne, C. J., Kinniburgh, D. G., Van Riemsdijk, W. H., Koopal, L. K. (1995) Metal ion binding to humic substances: application of the non-ideal competitive adsorption model. *Environmental Science & Technology*, **29**(2), 446-457. doi: <https://doi.org/10.1021/es00002a022>
- Boracho, P. R., Claudino, F. E., Silva, C. S., Casli, G.P., Lins e Silva, V., Longo, E., Weber, I. T. (2012) Análise do Teor de Chumbo em Louças Utilitárias Comercializadas no Brasil, *Cerâmica Industrial*, **17**(4), 39-42.
- Bosso, T.S., Enzweiler, J. (2008) Bioaccessible lead in soils, slag, and mine wastes from an abandoned mining district in Brazil. *Environmental Geochemistry and Health*, **30**(3), 219-229. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-007-9110-4>
- Bradl, H. B. (2004) Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, **217**(1), 1-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.04.005>
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009) *Resolução nº 420 - Estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas*, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília – DF, 28 de dezembro de 2009. Acesso em 20 de junho 2018, disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>
- Calareis, A. C. M. A (2014) *Argila: Matéria prima para cerâmica popular três casos Rio Real -(BA), Apiaí (SP) e Taubaté (SP)*, Tese (Doutorado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 202 pp.
- CDC, Centers for Disease Control and Prevention (2017) *What Do Parents Need Know Prot. Their Child.?* Acesso em 15 de fevereiro de 2020, disponível em: http://www.cdc.gov/nceh/lead/acclpp/blood_lead_levels.htm
- Chagas, M. P., Teixeira, L.S.G., Santana, R.C. Trindade, A.S.N., Barbosa, Isa dos S., Dantas, Alailson F., Korn, Maria Graças A., Almeida, J.S. (2020) Determination and Evaluation of Lead Migration for Foods Prepared in Clay Pots. *Food Analytical Methods*, **13**(1), 268-274. doi: <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01614-4>

- Chary, N. S., Kamala, C. T., Raj Suman Samuel, D. (2007) Assessing Risk of Heavy Metals from Consuming Food Grow on Sewage Irrigated Soils and Food Chain Transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **69**(3), 513-524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.04.013>
- Costa, R. G., Bah, H. A. F., Bandeira, M.J., Oliveira, S. S. P., Menezes-Filho, J. A. (2017) Lead and cadmium in mangrove root crab (*Goniopsis cruentata*), in natura and at food processing stages. *Food Additives & Contaminants: Part B*, **10**(83), 216-221. doi: <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1322638>
- Coria, C., Cabello, A., Tassara, E., López, E., Rosales, H., Pérez, M., Zavala, C., Muñoz, P., Orellana, G., Inostroza, M. I., Contreras, L., Kirsten, L. (2009) Efectos clínicos a largo plazo en niños intoxicados con plomo en una región del sur de Chile. *Revista Médica de Chile*, **137**(8), 1037-1044. doi: <https://doi.org/10.4067/S0034-98872009000800006>
- Cunha, C. A. S (2014) A Cerâmica Popular Baiana: Suas Origens e Principais Influências, *XII Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*. São Paulo, Brasil.
- Cunha, F. G., Figueiredo B. R., Paoliello M. M. B., De Capitani E. M. (2006) Diagnóstico ambiental e de saúde humana: contaminação por chumbo em Adrianópolis no estado do Paraná, Brasil. In Silva C.R., Figueiredo B.R., De Capitani E.M., Cunha F.G (Eds.), *Geologia médica no Brasil*. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 97-103.
- Elbana, T. A. (2013) *Transport and adsorption-desorption of heavy metals in different soils*. Dissertation (Doctor of Philosophy), Faculty of the Louisiana State, University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, 264 pp.
- Effron, D., De la Horra, A. M., Defrieri, R. L., Fontanive, V., Palma, R. M (2004) Effect of Cadmium, Copper, and Lead on Different Enzyme Activities in a Native Forest Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **35**(9-10), 1309-1321. doi: <https://doi.org/10.1081/CSS-120037548>
- Estrada-Sánchez, D., Ericson, E., Pérez, C. A. J., Madrid, G. A., Hernandez, L., Gualtero, S., Caravanos, J. (2017) Pérdida de Coeficiente Intelectual en Hijos de Alfareros Mexicanos, *Revista Médica del Instituto del Seguro Social*, **53**(3), 292-299.
- Fernandez-Turiel, J. L., Aceñalozza, P., Medina, M. E., Llorens, J. F., Sardi, F. (2001) Assessment of a Smelter Impact Area Using Surface Soils and Plants, *Environmental Geochemistry and Health*, **23**(1), 65-78.
- Ferreira, T. O., Otero, X. L., De Souza Junior, V. S., Torrado, P. V., Macías, F., Firme, L. P. (2010) Spatial patterns of soil attributes and components in a mangrove system in Southeast Brazil (São Paulo), *Journal of Soils and Sediments*, **10**(6), 995-1006.
- Flores-Ramírez, R., Rico-Escobar, E., Núñez-Monreal, J. E., García-Nieto, E., Carrizales, L., Ilizaliturri-Hernández, C., Díaz-Barriga, F. (2012) Exposición infantil al plomo en sitios contaminados, *Salud pública de México*, **54**(4), 383-392.
- Fonseca, B., Maio, H., Quintelas, C., Teixeira, A., Tavares, T. (2009) Retention of Cr(VI) and Pb(II) on a loamy sand soil - Kinetics, equilibria and breakthrough. *Chemical Engineering Journal*, **152**(1), 212-219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.04.045>
- Fonseca, E. F., Baptista-Neto, J. A., Silva, C. G. (2013) Heavy Metal Accumulation in Mangrove Sediments Surrounding a Large Waste Reservoir of a Local Metallurgical Plant, Sepetiba Bay, SE, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, **70**(2), 643-650. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2148-3>
- Galan, H. E., Romero, B. A. (2008) Contaminación de Suelos por Metales Pesados, *MACLA*, **10**(1), 48-60.
- Ginocchio, R., Narváez, J. (2002) Importancia de la Forma Química y de la Matriz del Sustrato en la Toxicidad por Cobre en *Noticastrum Sericem* (less) less.ex Phil. *Revista Chilena de Historia Natural*, **75**(3), 603-612. doi: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2002000300011>
- IARC, International Agency for Research on Cancer (2020) *List of Classifications, Agents classified by the IARC, Monographs, Volumes 1-127*. Acceso em 15 abr. 2020, disponible em: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>

- Jiang, X., Teng, A., XU, W., Liu, X. (2014) Distribution and pollution assessment of heavy metals in surface sediments in the Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **83**(1), 366-375. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.020>
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*, 3a ed., CRC press, EUA, 432 pp.
- Laidlaw, M. A. S., Taylor, M. P. (2011) Potential for childhood lead poisoning in the inner cities of Australia due to exposure to lead in soil dust. *Environment Pollution*, **159**(1), 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.08.020>
- Lewis, B. G. (2009) Soil Chemistry. In Sabljic A. (Ed.), *Environmental and Ecological Chemistry, Encyclopedia of life support systems*, EOLSS Publications, 78-114.
- Lima, M. V., Brayner, F. M. M., Pimentel, M. F (2002) Liberação de Chumbo por cerâmicas vitrificadas, *Revista Brasileira de Toxicologia*, **15**(1), 19-23.
- Lo, Y. C., Carrie, A. D., Neri, A., Durant, J., Jefferies, T., Medina-Marino. A., De Ravello. L., Thoroughman, D., Davis, L., Dankoli, R. S., Samson, M. Y., Ibrahim, L. M., Okechukwu, O., Umar-Tsafe, N. T., Dama, A. H., Brown, M. J. (2012) Childhood lead poisoning associated with gold ore processing: a village-level investigation Zamfara state, Nigeria. *Environmental Health Perspectives*, **120**(10), 1450-1455. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1104793>
- Méndez-Romero, F., Gisbert-Blanquer, J., Garcia-Diaz, J., Marqués-Mateu, A. (2003) Relación Estadística entre Metales Pesados y Propiedades de Suelos de Cultivo Regados con Aguas Residuales no Depuradas, *Interciencia*, **28**(5), 281-286.
- Menezes Filho, J. A. (2015) Avaliação preliminar do risco decorrente da exposição ao chumbo em olarias de Maragogipinho, Aratuípe, Bahia, *Laboratório de Toxicologia*, Universidade Federal da Bahia.
- Moreira, F. R., Moreira, J. C. (2004) Os Efeitos do Chumbo sobre o Organismo Humano e seu Significado para a Saúde, *Revista Panamericana de Salud Publica*, **15**(2), 119-129.
- Mohamed, N., Chin, Y. M., Pok, F. W. (1995) Leaching of lead from local ceramic tableware, *Food Chemistry*, **54**(3), 245-249. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00035-H](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00035-H)
- Neto, A. D. P. (2008) *A atividade ceramista artesanal de Maragogipinho e a relação com a degradação ambiental: perspectivas e sustentabilidade*, Tese de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 160 pp.
- NTP, National Toxicology Program (2012) *Monograph on Health Effects of Low-level Lead Evaluation*. United States Department of Health and Human Service, 176 pp.
- Oliveira, L. F. C., Lemke de Castro, M. L., Rodrigues, C., Borges, J. D. (2010) Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **14**(7), 776-782. doi: <https://doi.org/doi.org/10.1590/S1415-43662010000700014>
- Padamanabhm, M. (1983) Comparative study of the adsorption desorption behaviour of Cu (II), Zn (II), Co (II) and Pb (II) at the goethite-solution interface, *Australian Journal of Soil Research*, **21**(4), 515-525.
- Prakasa, R. M., Swamy, A.S.R. (1987) Clay mineral distribution in the mangrove of the Godavari delta, *Clay Research*, **6**(2), 81-86.
- Pereira, C. J. C. A (1957) *A cerâmica popular na Bahia*, EDUFBA, Salvador 139 pp.
- Mendoza, M. P. (2006) *Estudio de Metales Pesados en Suelos Bajo Cultivos Hortícolas de la Provincia de Castellón*, Tese (Doctorado en Biología), Departamento de Biología Vegetal de la Universitat de Valencia, Valencia, 427 pp.
- Plumlee, G. S., Durant, T. J., Morman, S. A., Neri, A., Wolf, R. E., Dooyema, C. A., Hageman, P. L., Lowers, H. A., Fernette, G. L., Meeker, G. P., Benzel, W. M., Driscoll, R. L., Berry, C. J., Crock, J. G., Goldstein, H. L., Adams, M., Bartrem, C. L., Behbod, S. T. B., Von Lindern, I., Brown, M. J. (2013) Linking geological and health sciences to assess childhood lead poisoning from artisanal gold mining in Nigeria. *Environmental Health Perspectives*, **121** (6), 744-750. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1206051>

- Prada-Gamero, R.M., Vidal-Torrado, P., Ferreira, T.O. (2004) Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do rio Iriri no canal de Bertioga (Santos, SP). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **28**(2), 233-243. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200002>
- Prathumratana, L., Kim, R., Kim, K. (2018) Lead contamination of the mining and smelting district in Mitrovica, Kosovo. *Environmental Geochemistry and Health*. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0186-9>
- Rabelo, D. J. A. (1929) Coreografia ou abreviada história geográfica do império do Brasil. Salvador, Bahia, *Revista do Instituto Geográfico da Bahia*, **55**(1), 140-150.
- Ross, S. M. (1994) Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In Ross, S. M. (Ed.) *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, Wiley, New York, 63-152.
- Silva, W. M. (2015) *Metais Pesados em Solos de Manguezais em Estuários da Bacia Paraíba, Nordeste do Brasil*, Tese de mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 64 pp.
- Voutsas, D., Grimanis, A., Samara, C. (1996) Trace Elements in Vegetable ps Grow in an Industrial Area in Relation to Soil and Air Particulate Matter. *Environment Pollution*, **94**(3), 325-335. doi: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00088-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00088-7)
- WHO, World Health Organization (2017) *Lead poisoning and health*. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/>
- Yan, K., Dong, Z., Wijayawardena, M. A. A., Liu, Y., Lid, Y., Naidu, R. (2019) The source of lead determines the relationship between soil properties and lead bioaccessibility. *Environmental Pollution*, **246**, 53-59. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.104>
- Zeng, L. S., Liao, M., Chen, C. L., Huang, C. Y. (2007) Effects of Lead Contamination on Soil Enzymatic Activities, Microbial Biomass, and Rice Physiological Indices in Soil-Lead-Rice (*Oryza sativa* L.) System. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **67**(1), 67-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.05.001>