

Evolução da contaminação do solo por metais tóxicos: o caso da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia, Brasil

Evolution of soil contamination by toxic metals: the case of Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia, Brazil

Aldeneidiane Santana dos Santos¹ , José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos¹ 

¹Universidade Federal da Bahia - UFBA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Ondina, CEP: 40170-290, Salvador, BA, BR (aldeneidiane@gmail.com; jose.anjos@ufba.br)

Recebido em 10 de fevereiro de 2021; aceito em 16 de dezembro de 2021

Resumo

A metalurgia de chumbo, localizada em Santo Amaro, na Bahia, abandonada em 1993, poluiu e contaminou diversos compartimentos ambientais e afetou severamente a saúde da população que reside, principalmente, em seu entorno. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a evolução dos protocolos utilizados nos 17 estudos realizados nos solos contaminados provenientes da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda. Adotou-se como metodologia científica a pesquisa bibliográfica, na qual foram estabelecidas três fases distintas sobre a evolução desses estudos e agrupadas pela época *versus* fato(s) marcante(s) que caracterizasse(m) as pesquisas, bem como aplicaram-se estudos geoestatísticos aos dados analíticos de monitoramento ambiental realizado pelos autores para a área. A primeira fase, correspondente ao período de 1990 a 2001, é marcada pelos estudos que avaliaram apenas chumbo e cádmio. A segunda fase corresponde ao período de 2002 a 2008 e é marcada pelo estudo de outros elementos, incluindo o aprimoramento dos protocolos analíticos e as possíveis técnicas de remediação adotadas. A terceira fase inicia-se com os estudos posteriores à resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) até 2016. Conclui-se que a falta de adoção de regulamento específico para avaliação desses solos levou a erros analíticos e conclusões inconsistentes das reais concentrações desses metais no solo em Santo Amaro. Os dados consultados não podem ser comparados, em virtude das diversas metodologias utilizadas. Caso o Estado não cumpra o que está disposto na resolução vigente, os erros poderão persistir para as pesquisas de futuras gerações.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Protocolos analíticos; Elementos tóxicos; Meio ambiente; Geoestatística.

Abstract

The Lead metallurgy, located in Santo Amaro, Bahia, which was abandoned in 1993, polluted and contaminated several environmental compartments and severely affected the health of the population that lives, mainly, in its surroundings. The objective of the research was to evaluate the evolution of the protocols used in the seventeen studies carried out on contaminated soils from Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda. Bibliographic research was adopted as the scientific methodology, in which three distinct phases were linked to the evolution of these studies and grouped by the time *versus* remarkable fact(s) that characterized the researches, in addition, geostatistics were applied to the data of the proposed environmental monitoring performed for the area. The first phase, corresponding to the period from 1990 to 2001, is marked by studies that evaluated only lead and cadmium. The second phase corresponds to the period from 2002 to 2008 and is marked by the analysis of other elements, including the improvement of analytical protocols and possible remediation techniques. The third phase begins with subsequent studies to CONAMA Resolution 420/2009 until 2016. It is concluded that the lack of implementation of a specific regulation for the evaluation of these soils allowed analytical errors and inconsistent conclusions about the actual concentrations of these metals in the soil of Santo Amaro. The consulted data cannot be compared, due to the different methodologies used. If the State does not comply with the provisions of the current resolution, errors may persist in future researches.

Keywords: Environmental monitoring; Analytical protocols; Toxic elements; Environment; Geostatistics.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural fundamental, altamente complexo e essencial para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos da biosfera (Pereira et al., 2015). Além disso, esse recurso vivencia grandes conflitos ambientais e o risco da contaminação por metais tóxicos tem aumentado de forma significativa nos últimos anos, em virtude do crescimento das atividades industriais, agrícolas e da expansão territorial, conforme Andrade et al. (2009). Para Yang e Sun (2009), citado em Su et al. (2014), entre os dez principais eventos ambientais que ocorrem no mundo, dois estão relacionados à contaminação por elementos tóxicos.

Desse modo, para Andrade et al. (2009), é consagrado na literatura científica que entre as atividades industriais que causam riscos de contaminação nos solos, por metais pesados, o setor metalúrgico é o que mais se destaca, por produzir grandes quantidades de resíduos ricos nesses poluentes, especialmente chumbo (Pb), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e cromo (Cr).

Em função da toxicidade, autores como Duffus (2002), Hodson (2004) e Moon e Chae (2007) explicam que a expressão “metais pesados”, comumente utilizada para definir uma série de elementos que são altamente tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente, é considerada cientificamente sem conteúdo ou até mesmo errônea. Além disso, Andrade e Tiecher (2016) afirmam que a expressão é limitada, imprecisa e se tornou um vício de linguagem utilizado com uma larga frequência no meio acadêmico. Para eles, a definição mais precisa, quando se refere à potencialidade de danos agudos ou crônicos à biota, seria “elementos ou metais tóxicos” (termo usado neste artigo).

Dentro desse contexto de contaminação por metais tóxicos, destaca-se a Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC), de propriedade da multinacional Peñarroya, por produzir ligas de chumbo no município de Santo Amaro, no estado da Bahia, durante o período de 1960 a 1993. O processo de sinter-redução para a fabricação de ligas de chumbo teve como matéria-prima o minério concentrado de chumbo proveniente das jazidas da Mineração Boqueira, localizadas no município de mesmo nome, situada no semiárido Baiano (Anjos, 1998). Durante o período de produção, em 1989, a COBRAC mudou de nome e passou a ser chamada Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda (Anjos, 1998) até o seu fechamento (Machado et al., 2004) ou abandono no ano de 1993 (Anjos, 1998).

Nesse sentido, estima-se que a antiga Plumbum produziu, durante o período de alta atividade, cerca de 490.000 toneladas de escória, enriquecida em metais tóxicos, principalmente, Pb, Cd, Zn, Cu e arsênio (As). Proveniente dessa produção, uma quantidade não estimada de escória foi utilizada na pavimentação de obras públicas e privadas, conforme Anjos (1998), Anjos e Sánchez (1997, 2000) e Anjos (2003). Além disso, efluentes líquidos do processo metalúrgico foram lançados diretamente no rio Subaé (Brasil, 2003).

Em função do seu uso inadequado, a toxicidade da escória procede discussões no meio acadêmico e causa divergência em razão dos diferentes métodos analíticos empregados nas análises químicas para determinação dos teores de metais tóxicos.

Assim, Santos (1995), Anjos (1998, 2003), Machado et al. (2004) e Lyrio e Garrido (2019) admitem que a escória representa a principal fonte de contaminação do solo na região da antiga metalúrgica e da área urbana. Os autores supracitados utilizaram laboratórios credenciados e por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), especialmente a NBR 10.004 – Classificação de resíduo, e testes de Lixiviação e Solubilização, indicaram, por meio de laudos analíticos, a classificação da escória como resíduo classe I – Perigoso. Entretanto, o estudo desenvolvido por De Andrade Lima e Bernardes (2010, 2013, 2017), que utilizou o método analítico USEPA (1986, 1990), caracteriza a escória como resíduo não perigoso.

Quanto aos aspectos pedológicos, os solos da metalurgia e do seu entorno são representados majoritariamente por Vertissolos (Bahia, 1996; Anjos, 1998, 2003; Machado et al., 2003; Rabelo, 2010; Souza, 2014) e Argissolos e Neossolos (Asevedo, 2012; Souza, 2014). Os Vertissolos são solos que se caracterizam por apresentar textura argilosa a muito argilosa, com a presença de argilas que fazem parte do grupo da montmorilonita (Bahia, 1996; Anjos, 1998; Souza, 2014). Desse modo, para Machado et al. (2003), Rabelo (2010) e Lima (2014), a constituição mineralógica desses solos influencia em suas propriedades químicas e físicas, principalmente na alta capacidade de adsorver compostos e elementos potencialmente tóxicos, o que favorece na atenuação dos impactos ambientais.

A área da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda (antiga COBRAC) está situada a noroeste da cidade de Santo Amaro, Recôncavo Baiano, e dista 81,4 km da capital de Salvador. Os pontos amostrais coletados por Anjos et al. (2016) estão situados no sítio da Plumbum (Figura 1), e essa pesquisa é o marco inicial para a avaliação de solos contaminados, baseada em uma metodologia específica para esses sítios.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os protocolos de investigação para solos contaminados, desenvolvidos nos 17 estudos realizados dentro e fora das instalações da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda durante os 60 anos de contaminação ambiental e aplicar o método geoestatístico descritivo aos valores de concentração dos elementos Pb, Cd, Zn e Cu das 16 amostras contidas na pesquisa inicialmente desenvolvida por Anjos et al. (2016).

METODOLOGIA

O método científico utilizado para o desenvolvimento deste estudo consiste na pesquisa bibliográfica, com a

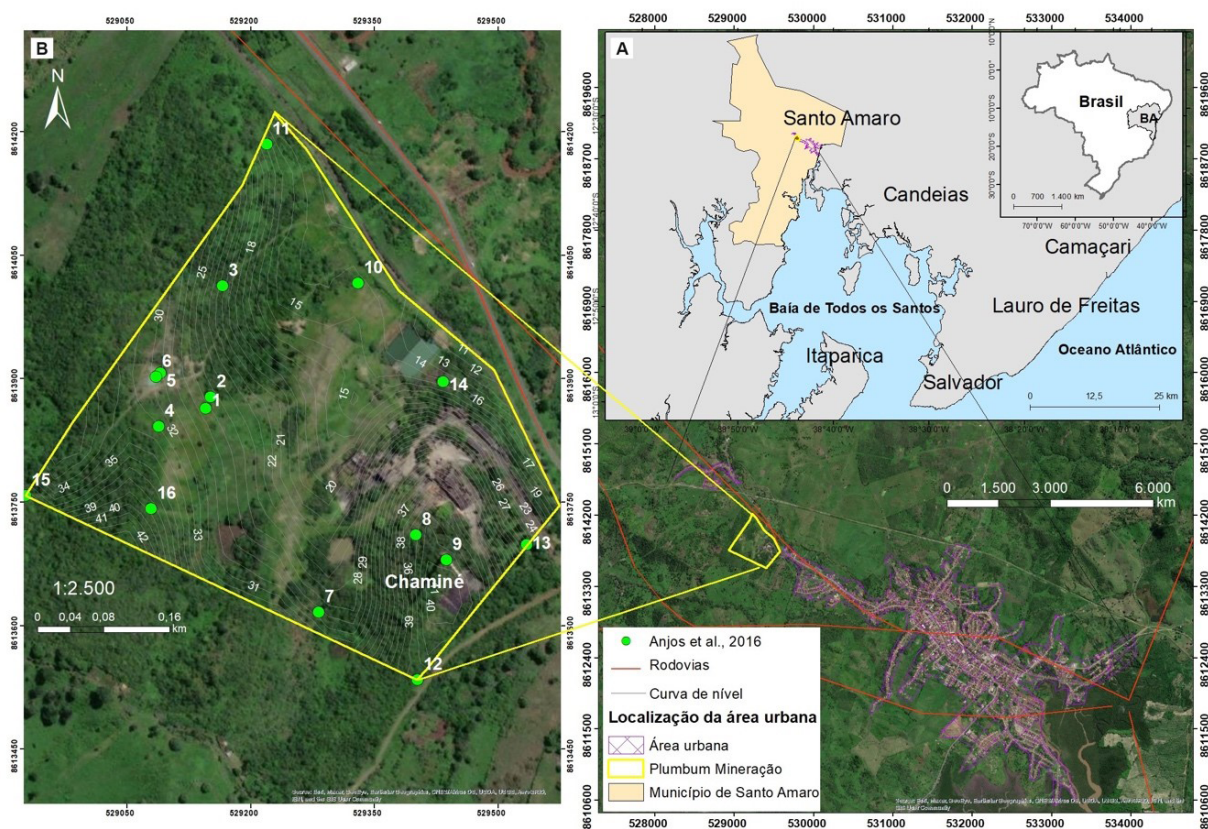


Figura 1. Localização da zona urbana de Santo Amaro e área específica da pesquisa, delimitada pela poligonal de cor amarela com coordenadas 529227mE, 529572mE, 529401mE, 528926mE e 8614223mN, 8613747mN, 8613534mN, 8613757mN, 8591500N (SIRGAS 2000). (A) Detalhe do sítio da Plumbum e localização dos pontos amostrais de Anjos et al. (2016); (B) Fonte: imagem Google Earth, 2020, adaptada; mapa de autoria própria.

finalidade de conhecer as diferentes contribuições científicas realizadas no contexto da contaminação por metais tóxicos proveniente da metalúrgica de chumbo, instalada em Santo Amaro, Bahia.

Para a análise das pesquisas iniciadas em 1961 até 2016 foram avaliados 17 protocolos, especialmente os correspondentes às amostragens e às análises químicas do solo, publicados a partir de 1990. E para melhor delimitação desta pesquisa, foram definidas duas premissas básicas para estabelecer fases distintas dos protocolos:

- Estudos agrupados com base nos anos das publicações;
- Caracterizar o fato de relevância que marcou as publicações científicas no período de 1991 até 2016.

A partir dessas premissas foram delimitadas três fases para avaliação dos protocolos supracitados:

- Primeira fase: corresponde ao período de 1990 a 2001 e apresenta como fato marcante o desenvolvimento dos estudos somente com os elementos Pb e Cd, realizados por Tavares (1990), Anjos (1998) e Costa (2001);

- Segunda fase: corresponde ao período de 2002 a 2008 e é marcado pela abrangência de outros elementos tóxicos associados à contaminação do solo na região, tais como As, Pb, Cd, Cu, mercúrio (Hg), níquel (Ni), Zn e antimônio (Sb), além do aprimoramento dos protocolos analíticos, por meio dos estudos realizados por Anjos (2003), Brasil (2003) e Machado et al. (2004);
- Terceira fase: corresponde ao período de 2009 a 2016 e reúne como fato marcante a promulgação da Resolução nº 420/2009 (Brasil, 2009) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e os estudos posteriores a essa resolução, como Rabelo (2010), Asevedo (2012), Santos (2012), Kede (2014), Romão (2014), Santos et al. (2014), Souza (2014), De Andrade Lima et al. (2015), Costa et al. (2015), Cunha e Viglio (2015) e Anjos et al. (2016).

Por fim, aplicou-se o método geoestatístico descritivo, por intermédio da krigagem ordinária, aos valores de concentração dos elementos Pb, Cd, Zn e Cu nas 16 amostras da pesquisa desenvolvida por Anjos et al. (2016).

Método geoestatístico descritivo

A partir dos valores de concentração dos elementos Pb, Cd, Zn e Cu (Tabela 1), aplicou-se o método geoestatístico descritivo, por intermédio de krigagem ordinária, nas 16 amostras de solo. Esse método foi estabelecido como procedimento para avaliar a Atenuação Natural Monitorada (ANM) da área contaminada situada dentro da metalurgia, tendo em vista a proposta de monitoramento ambiental do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, a ser desenvolvida a cada cinco anos seguintes.

Os dados foram compilados em uma planilha do Excel, importados para o *software* IoGas 7.3 e processados para obter os dados dos parâmetros estatísticos (máximo, mínimo, média, mediana, desvio padrão, variância, quartil 25 e 75%, assimetria e curtose) para cada elemento em questão.

Em seguida, esses dados foram interpretados para auxiliar na confecção dos mapas geoestatísticos, por meio das isolinhas de concentração máxima e mínima em locais não amostrados. Por intermédio dos *softwares* Sufer, Google Earth e ArcGis10.3, esses dados foram sobrepostos com a imagem de satélite atualizada, o que permitiu localizar as áreas com os valores que estão acima do permitido pela legislação do CONAMA nº 420/2009 (atual CONAMA nº 460/2013 — Brasil, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeira fase

As pesquisas realizadas durante o período de 1990 a 2001 foram pioneiras em avaliar as concentrações de metais no solo (Tavares, 1990; Anjos, 1998; Costa, 2001), o sedimento, as águas superficial e subterrânea (Anjos, 1998) e a fauna e a flora (Tavares, 1990; Costa, 2001) da região de Santo Amaro. Essas pesquisas tiveram como objetivo principal a avaliação das concentrações de dois elementos considerados muito tóxicos, o Pb e o Cd. Quanto à terminologia, todos os autores citados utilizaram a expressão “metais pesados”.

Nesse sentido, a pesquisa de Tavares (1990) avaliou a correlação entre as concentrações dos metais (Pb e Cd) no solo peridomiciliar da Av. Rui Barbosa com os valores desses elementos encontrados no sangue das crianças. Do mesmo jeito, houve a contribuição de Anjos (1998), pioneiro no desenvolvimento do diagnóstico no meio físico no sítio da metalurgia, que avaliou as concentrações dos elementos supracitados na principal e atuante fonte de contaminação, barragem de escória, e no desenvolvimento de perfis de solo para entender a profundidade da contaminação, sua interação com parâmetros físico-químicos (CTC, textura, percentual

Tabela 1. Pontos amostrados por Anjos et al. (2016) com as concentrações dos metais tóxicos de interesse, as coordenadas geográficas e a distância da chaminé. Destacam-se, em cinza, os pontos 3, 8, 9 e 13 tanto pela distância da chaminé quanto pelos valores muito acima do permitido para uma área industrial.

Ponto	utmE	utmN	Pb (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Distância da chaminé (m)
1	529145	8613864	832,3	12,9	194	66,1	340,3
2	529151	8613878	525,9	10,31	155	63,4	342,8
3	529166	8614013	5.700,1	138,75	596	206,4	423,4
4	529088	8613842	322,7	3,62	81	46,6	380,5
5	529090	8613907	179,5	9,32	181	20	409,7
6	529085	8613902	502,1	61,29	188	40,8	411,3
7	529282	8613616	1.092,3	11,74	237	65,4	168,3
8	529400	8613710	4.737,3	116,12	647	77,9	42,4
9	529437	8613680	5.952,6	31,48	968	171,2	6,3
10	529330	8614016	2.740,9	22,31	252	80,3	346,3
11	529219	8614185	2.428,2	12,97	205	58,8	543,7
12	529402	8613534	1.426	15,19	468	65,1	155,5
13	529534	8613698	12.500	229,54	2399	716,3	99,7
14	529433	8613896	643,6	7,58	144	66,4	210,0
15	528927	8613758	672,6	5,86	116	50	513,1
16	529079	8613742	1.524,6	11,28	209	52,2	360,4

de matéria orgânica) e suas concentrações nas vias de contaminação: águas superficiais e subterrâneas.

Do mesmo modo, a pesquisa realizada por Costa (2001) também avaliou a concentração de Pb e Cd em solos equidistantes à metalurgia. Além disso, avaliou a concentração dos metais supracitados no sangue de mulheres e crianças residentes da Av. Rui Barbosa e da população bovina da região, e concluiu que apesar da redução em quase 71% do nível de Pb no sangue de crianças inicialmente estudadas por Tavares (1990), a fonte poluidora deveria ser eliminada (ou controlada) para evitar novos casos de contaminação.

Portanto, os estudos desenvolvidos por Tavares (1990) têm como principal referência o período no qual a metalurgia se encontrava em funcionamento, enquanto os estudos desenvolvidos por Anjos (1998) e Costa (2001) ocorreram, imediatamente, após o abandono dela.

Conforme a Tabela 2, verifica-se que todas as pesquisas utilizaram a terminologia “metais pesados” para o Pb e o Cd, aplicaram o mesmo método analítico (digestão com HNO₃ concentrado — AAS com chama), além de serem provenientes de monografias desenvolvidas na Universidade de São Paulo (USP) e na UFBA.

Segunda fase

Essa etapa caracteriza-se pelo desenvolvimento de pesquisas específicas para cada componente do meio físico — especialmente solo, sedimento, águas superficial e subterrânea — realizadas nas instalações da antiga Plumbum (Anjos, 2003; Brasil, 2003) e no perímetro urbano do município de Santo Amaro (Brasil, 2003; Machado et al., 2004), no período compreendido entre 2002 e 2008 (Tabela 3).

Tabela 2. Pesquisas que fazem parte da primeira fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores no período de 1990 a 2001, agrupadas por analisarem apenas chumbo e cádmio como elementos tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente.

Referência	Tavares (1990)	Anjos (1998)	Costa (2001)
Termo usado	Metais pesados	Metais pesados	Metais pesados
Tipo do trabalho	Tese de doutorado	Dissertação de mestrado	Dissertação de mestrado
Objetivo primário	Estudar o efeito das emissões aéreas de Cd e Pb de uma metalurgia sobre a população circunvizinha em dois períodos no tempo (antes e depois de tomada das medidas de abatimento exigidas pelo governo).	Pesquisar a contaminação por metais pesados provenientes da escória e propor medidas de controle em uma área piloto, localizada no sítio de deposição de escória produzido pela Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda.	Avaliar alguns efeitos da contaminação resultante do passivo ambiental de uma fundição desativada de Pb na cidade de Santo Amaro da Purificação, na Bahia; verificar a possível correlação de exposição/absorção de Pb e Cd a estudos citogenéticos utilizando populações de bois e de mulheres da vizinhança da fundição.
Material analisado	Amostra de solo (jardim, canteiros) e sangue (crianças e mulheres)	Amostra de solo (superficial e perfil), águas superficial e subterrânea e escória	Amostra de solo (superficial e perfil), sangue (crianças e mulheres), bovinos e gramíneas
Elementos analisados	Pb e Cd	Pb e Cd	Pb e Cd
Profundidade da amostragem (cm)	Não informa	0 – 10	0 – 15
Local da amostragem/distância da chaminé	Nas ruas da cidade de Santo Amaro/pontos com distâncias de 900 e 5.000 m	Dentro da metalurgia/pontos com distâncias de 200 e 400 m	Externo à metalurgia/pontos com distâncias de < 1 a 14 km do sítio metalúrgico
Metodologia analítica	Digestão com HNO ₃ concentrado – AAS com chama	Digestão com HNO ₃ concentrado – AAS com chama	Digestão com HNO ₃ concentrado – AAS com chama
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 5,5	pH: 8,0; CTC: 47,1 meq/100 g; MO: 10%; textura: argiloso a muito argiloso	Não informa

CTC: capacidade de troca de cátions; MO: teor de matéria orgânica.

Fonte: adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010).

Tabela 3. Pesquisas que fazem parte da segunda fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores no período de 2002 a 2008, agrupadas por analisarem a presença de outros elementos potencialmente tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente e por apresentarem protocolos amostrais e analíticos.

Referência	Anjos (2003)	Brasil (2003)	Machado et al. (2004)
Termo usado	Metais pesados	Metais pesados	Metais pesados
Tipo do trabalho	Tese de doutorado	Projeto	Artigo
Objetivo primário	Avaliar um sistema compreendido por um barramento de resíduo tóxico (escória) e uma zona alagadiça (<i>wetland</i>), pesquisando a atual capacidade de retenção ou remoção e o potencial de disponibilidade dos metais na área alagada, utilizando parâmetros de suporte e análises químicas para a escória contaminada, as águas pluviais e superficiais, além do sedimento da <i>wetland</i> .	Levantar dados de saúde, sócio-demográficos, ambientais, históricos, geográficos, a partir de informações dos diversos atores sociais da comunidade.	Obter informações técnicas e de engenharia para auxiliar na proposição de medidas para a remediação das áreas afetadas pela extração metalúrgica do chumbo em Santo Amaro da Purificação, por meio da participação de uma equipe constituída de engenheiros e especialistas em engenharia ambiental e da participação de especialistas de áreas afins.
Material estudado	Solo, escória e sedimentos da zona alagadiça	Solos, águas superficial e subterrânea, sedimentos e alimentos	Solo superficial e em perfil
Elementos analisados	Pb, Cd, Zn, Cu , Co, Cr, Ni, Al, Mn, Fe, Mg e Ca	As, Cd, Cu, Pb , Hg, Ni, Zn e Sb	Pb, Cd e Zn
Amostragem (cm)	10	10	30
Local da amostragem/distância da chaminé	Dentro da metalurgia/pontos com distâncias de 200 e 400 m	Dentro e externo da metalurgia; Cidade de Santo Amaro	Externo à metalurgia e Cidade de Santo Amaro/sem coordenadas dos locais amostrados
Metodologia analítica	Extração sequencial, NH ₂ OH.HCl e AAS com chama	Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma de Argônio Induzido (ICP-OES)	Espectrofotogrametria de absorção atômica
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 8,0; CTC: 47,1 meq/100 g; MO: 10%; textura: argiloso a muito argiloso	pH: 8,0; CTC: 47,1; meq/100 g; MO: 10%; textura: argiloso a muito argiloso	pH: 5,0

ICP-OES: *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado); CTC: capacidade de troca de cátions; MO: teor de matéria orgânica.
Fonte: adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010).

O propósito comum entre esses estudos concentra-se no fato de que todos foram financiados pelo governo federal, por meio de grandes projetos, com a preocupação em avaliar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Além disso, outros elementos tóxicos fizeram parte da avaliação da contaminação dos solos, não apenas o Pb e o Cd. O Projeto Purifica, iniciado em 2000, deu continuidade a Anjos (1998) e propôs um diagnóstico da contaminação em toda a zona urbana de Santo Amaro da Purificação e uma ampliação das pesquisas nas instalações da Plumbum, que resultou nas publicações de Anjos (2003) e Machado et al. (2004).

Anjos (2003) quantificou, além de Pb e Cd, as concentrações de Zn, As, Cu, alumínio (Al), magnésio (Mg) e cálcio

(Ca) em solo, no sedimento das áreas úmidas (*wetlands*) e nas águas superficiais, especificamente, em drenagem localizada dentro da metalurgia até o rio Subaé, por meio do método analítico de extração sequencial. Assim, avaliou o potencial de disponibilidade desses metais para o meio, além de propor o primeiro protocolo com técnicas de remediação para a área contaminada.

Machado et al. (2004) realizaram investigações geofísicas, geoquímicas e geotécnicas diretas e indiretas no entorno da antiga Plumbum e na área urbana de Santo Amaro, as quais contribuíram de forma efetiva para o conhecimento das características geomecânicas do solo e no diagnóstico da contaminação em amostras de águas subterrâneas, em solo superficial e em perfil. Além disso, os autores avaliaram

também a possibilidade do reprocessamento da escória visando à retirada de seus metais tóxicos e ao reuso.

Já a pesquisa realizada por Brasil (2003) avaliou os riscos dos elementos Pb, Cd, Cu, Zn, As, Ni e Hg à saúde humana na zona urbana da cidade de Santo Amaro, por meio da metodologia de avaliação de risco da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR). O autor estabeleceu como foco principal da contaminação ambiental as instalações da Plumbum e como foco secundário a bacia e o estuário do rio Subaé. Além dos compartimentos ambientais, Brasil (2003) avaliou alimentos, vegetais comestíveis e a biota aquática, e utilizou técnicas multielementares para quantificar e qualificar os elementos de interesse presentes nos solos. Ao comparar os valores obtidos para os metais analisados com o valor permitido pela legislação vigente, para uma área industrial, o autor concluiu que os valores de Pb, Cd, Zn e Cu estão acima dos limites permitidos, com alto risco à saúde humana, e classificou a área da antiga Plumbum como de perigo urgente para a saúde pública.

Terceira fase

Essa fase representa a etapa mais extensa de toda a pesquisa, caracterizada por uma série de estudos que avaliaram os solos da região de Santo Amaro, mais precisamente em áreas próximas ao sítio metalúrgico da Plumbum, no período compreendido entre 2009 e 2016, totalizando 11 publicações (Tabelas 4, 5 e 6). Entre as publicações apresentadas, estão: um livro, uma tese de doutorado, cinco dissertações de mestrado e quatro artigos científicos, todos após a promulgação do CONAMA nº 420/2009.

É importante ressaltar que, em relação à terminologia adotada pelos autores, Kede (2014) (Tabela 5) e Anjos et al. (2016) (Tabela 6) optaram pela nomenclatura “metal tóxico”, De Andrade Lima et al. (2015) indicaram o termo “elementos potencialmente tóxicos”, enquanto os outros mantiveram o termo consagrado “metais pesados” em seus textos.

Com relação aos objetivos, as pesquisas trataram majoritariamente sobre os aspectos relacionados à remediação

Tabela 4. Pesquisas que fazem parte da terceira fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores do período de 2009 a 2016, após a promulgação da Resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Referência	Rabelo (2010)	Asevedo (2012)	Santos (2012)
Termo utilizado	Metais pesados	Metais pesados	Metais pesados
Tipo do trabalho	Dissertação de mestrado	Dissertação de mestrado	Dissertação de mestrado
Objetivo primário	Estudar a contaminação remanescente no sítio urbano e no entorno de Santo Amaro, identificar as contribuições provenientes da deposição de escória e das antigas emissões atmosféricas geradas pela COBRAC.	Avaliar o impacto da atividade industrial na contaminação dos solos por metais e verificar a sua correlação com atributos do solo e as formações geológicas, no intuito de identificar com mais amplitude e precisão a contaminação por Pb, Zn, As, Cd e Cu na área rural de Santo Amaro da Purificação.	Avaliar o efeito de ácido húmico extraído de vermicomposto, ácido húmico comercial e carvão vegetal ativado como fontes de carbono para reduzir a toxidez de metais pesados para plantas de milho em solo multicontaminado do município de Santo Amaro da Purificação, Bahia.
Material estudado	Solo superficial de quintais; solo + escória; solo área de empréstimo	Solo superficial e perfil	Solo superficial
Elementos analisados	Pb, Cd e Zn	Pb, Cd, Zn, As e Cu	Pb, Cd, Ni, Cu e Zn
Amostragem (cm)	0 – 20	Perfil	0 – 20
Local da amostragem/ distância da Chaminé (m)	Externo à Metalúrgica/812 m	Externo à Metalúrgica/280 m	Dentro da Metalúrgica/280 m
Metodologia analítica	Digestação parcial por EAA	USEPA 3050; ICP-OES	USEPA, 3050b; ICP-AES; Mehlich 1
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 6,6 (MUNOZ, 2010)	pH: 4,9 – 5,5	pH: 7,6

EAA: espectrometria de absorção atômica; ICP-OES: *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado); ICP-AES: *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado).

Fonte: adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010).

Tabela 5. Pesquisas que fazem parte da terceira fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores no período de 2009 a 2016, após a promulgação da Resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Referência	Santos et al. (2014)	Souza (2014)	Romão (2014)	Kede (2014)
Termo utilizado	Metais pesados	Metais pesados	Metais pesados	Metais tóxicos
Tipo do trabalho	Artigo	Dissertação de mestrado	Dissertação de mestrado	Tese de doutorado
Objetivo primário	Avaliar materiais que possam ser utilizados como amenizantes da toxidez de Pb em um solo contaminado por atividades metalúrgicas em Santo Amaro da Purificação, Bahia, e estudar o efeito de dois tipos de ácidos húmicos e um material ativado na redução da fitotoxidez do metal e sua viabilidade para programas de remediação da área.	Caracterizar morfológica, física e quimicamente os diferentes solos de uma sequência representativa da Bacia Hidrográfica do Rio Subaé, no município de Santo Amaro, Bahia, em área altamente contaminada por rejeitos do processamento de chumbo e, por meio desses resultados, explicar os principais processos pedogenéticos que, possivelmente, provocaram alterações nos solos, ao longo da vertente analisada.	Avaliar a relação solo-vegetação e anatomia foliar das principais espécies <i>S. terebinthifolius</i> e <i>P. guajava</i> em área contaminada por metais pesados.	Avaliar a viabilidade da remediação de solo contaminado por Pb e Cd em área do município de Santo Amaro, Bahia, utilizando diferentes fontes de fosfatos e fitorremediação com o capim vitiver <i>Vetiveria zizanioides</i> (L.) na tentativa de minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde humana.
Material estudado	Solo superficial	Solo	Solo superficial e espécies vegetais	Solo e espécies de vegetais
Elementos analisados	Pb	Pb, Cd e Zn	Pb	Pb e Cd
Amostragem (cm)	0 – 20	Perfil	0 – 20	0 – 20
Local da amostragem/distância da chaminé	Externo à metalurgia/277 m	Dentro da metalurgia/380 m	Dentro da metalurgia/430 m	Dentro da metalurgia/100 m
Metodologia analítica	USEPA 3050b; ICP-AES	USEPA 3050; EAA	Solução de Mehlich 1 por EAA	USEPA 3051a; ICP-OES; extração sequencial BCR e TCLP
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 7,6; CTC: 11,8 $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$; MO: 15,7	pH: 4,9 – 8,4; CTC: 34,3 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$; MO: 2,9% $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ textura: argiloso a muito argiloso	pH: 7,6 – 8,9	pH: 8,0

ICP-AES: *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado); EAA: espectrometria de absorção atômica; ICP-OES: *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado); BCR: *Community Bureau of Reference* (método de extração sequencial simples); TCLP: *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*; CTC: capacidade de troca de cátions; MO: teor de matéria orgânica.
Fonte: adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010).

da área contaminada, por meio de Kede (2014), Romão (2014), Santos et al. (2014) (Tabela 5) e De Andrade Lima et al. (2015) (Tabela 6). Outros estudos avaliaram as questões atmosféricas antigas (Rabelo, 2010), enquanto Asevedo (2012), Souza (2014) e Costa et al. (2015) avaliaram características dos solos da região e os efeitos da contaminação por metais. Já Anjos et al. (2016) avaliaram as concentrações dos metais dentro da metalurgia, de acordo com o

CONAMA 420, com o intuito de propor monitoramento ambiental para a área.

A pesquisa de Rabelo (2010) buscou avaliar e separar a origem das contribuições de Pb e Cd presentes nos solos da área urbana do município de Santo Amaro. O autor conclui que essa contaminação é proveniente tanto da utilização da escória como pavimentação da área urbana de Santo Amaro quanto da deposição de antigas emissões

Tabela 6. Pesquisas que fazem parte da terceira fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores no período de 2009 a 2016, após a promulgação da Resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Referência	Costa et al. (2015)	De Andrade Lima et al. (2015)	Cunha e Viglio (2015)	Anjos et al. (2016)
Termo utilizado	Metais pesados	Elementos potencialmente tóxicos	Metais pesados	Metais tóxicos
Tipo do trabalho	Artigo	Artigo	Livro	Artigo
Objetivo primário	Caracterizar e classificar solos em topossequência, localizados dentro de área contaminada por rejeitos de mineração na Bacia Hidrográfica do Rio Subaé, no município de Santo Amaro, Bahia.	Caracterizar o solo da região da antiga fundição de Santo Amaro e avaliar algumas técnicas para o tratamento do solo contaminado.	Avaliar a composição do substrato rochoso, dos solos, dos sedimentos ativos de corrente e das águas de drenagem visando subsidiar projetos nas áreas do meio ambiente e de saúde pública.	Avaliar em 2015 os níveis de contaminação por metais tóxicos encontrados nos solos superficiais dentro do sítio contaminado da Plumbum, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo CONAMA 2009.
Material estudado	Solo	Solo superficial	Solo, água superficial, sedimento de corrente	Solo superficial
Elementos analisados	Pb, Cd, Zn	Pb, Cd, Sb, Zn, As, Ba, Cu, Cr, Ag, Ni, Hg, Mo, Se, Co	Pb, Cd, Sb, Zn, As, Ba, Cu, Cr, Ag, Ni, Hg, Mo, Se, Co, V	Pb, Cd, Sb, Zn, As, Ba, Cu, Cr, Ag, Ni, Hg, Mo, Se, Co, V
Amostragem (cm)	Perfil	0 – 20	0 – 20	0 – 20
Local da amostragem/distância da chaminé (m)	Dentro e arredores/não informa	Externo à metalurgia	Município de Santo Amaro	Dentro da Metalúrgica
Metodologia analítica	USEPA 3050B por EAA	ICP-MS para Pb; FUS-MS para Cd	Espectrometria de Emissão Atômica – (ICP-AES) e ICP-MS	HNO ₃ e HCl por EEA
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 4,9 – 8,9	Não informado	Não informado	pH: 5,9

EAA: espectrometria de absorção atômica; ICP-MS: *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*; FUS-MS: *Fusion-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*; ICP-AES: *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado).
Fonte: adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010).

atmosféricas da chaminé no solo, quando ela esteve em atividade.

As contribuições de Asevedo (2012) permitiram relacionar as formações rochosas (os folhelhos dos grupos Santo Amaro e Ilhas), as classes de solo (vertissolos e argissolos) e a geoquímica do solo (rico em Ca e Mg), e sugeriram a realização de estudos mais detalhados para distinguir as duas fontes de enriquecimento desses metais no solo.

Já as pesquisas realizadas por Santos (2012), Kede (2014), Romão (2014), Santos et al. (2014) e De Andrade Lima et al. (2015) realizaram experimentos utilizando espécies vegetais e compostos orgânicos em amostras de solos contaminados, coletados em um raio de até 500 m da Plumbum, com o intuito de aferir o teor total desses elementos bioacumulados e o potencial de disponibilidade e

verificar a eficiência dessas técnicas em minimizar os efeitos dessa contaminação.

Os estudos desenvolvidos por Souza (2014) e Costa et al. (2015) demonstraram como a posição topográfica e a gênese do solo influenciam no acúmulo de Pb, Cd e Zn em horizontes superficiais (até 12 cm). No entanto, os maiores valores encontrados para esses metais situam-se às margens do rio Subaé, em encosta inferior e em solos classificados como vertissolo háplico, a 350 m de distância da chaminé.

Todavia, a precariedade da legislação ambiental brasileira, aplicada à avaliação de solos contaminados, conduziu ao uso inapropriado dos valores de referências de Pb, Cd, Zn e Cu nas pesquisas que avaliaram os solos da antiga Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda e entorno, durante os anos de 1990 a 2015 (Tabela 7).

Tabela 7. Evolução dos valores das concentrações máximas de chumbo, cádmio, zinco e cobre, encontrados nas 16 publicações que ocorreram no período de 1990 a 2015, bem como os valores utilizados como referências em cada pesquisa.

Referência	Valor máximo encontrado (mg.kg ⁻¹)				Valor de referência utilizado (mg.kg ⁻¹)				Orgão
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	
Tavares (1990)	107.268 (1980); 83.532 (1990)	335 (1980); 157 (1990)	Não analisado	Não analisado	5.000	0,5	-	-	Forstner (1980)
1ª fase Anjos (1998)	8.200	117	Não analisado	Não analisado	72 – 18.500	0,6 – 160	-	-	Kabata e Pendias (1984) apud CETESB (1997)
Costa (2001)*	2.081	27,6	Não analisado	Não analisado	17	0,4	-	-	chumbo: Pitrowsky e Coleman (1980); cádmio: Hutzinger (1980)
Anjos (2003)	11.084	117	8.995	742					
2ª fase Brasil (2003)	5.890	30,2	7.800	102	2.000	60	720	190	CETESB (1999 – 2001) – Industrial
Machado et al. (2004)	13.000	200	6.500	Não analisado					
Rabelo (2010)	2.420	9,1	Não analisado	Não analisado	300	8	1.000	400	CONAMA 420/2009 - V.I – Residencial
Asevedo (2012)	12.678	54	522	177,0	72	1,3	300	60	CONAMA 344-04; 420- 09 e CETESB, 2007 – V.P
Santos (2012)	11.707	50	2.155	227,7					
Santos et al. (2014)	11.707	Não analisado	Não analisado	Não analisado					
Souza (2014)	4.499	21	Não analisado	Não analisado	900	20	2.000	-	CONAMA 420/2009 – V.I – Industrial
3ª fase Romão (2014)	482	212	501	Não analisado					
Kede (2014)	3.196	33	Não analisado	Não analisado					
Costa et al. (2015)	23.713,4	51,3	1.858,9	Não analisado	300	8	1.000	-	CONAMA 420/2009 – V.I – Residencial e Industrial
De Andrade Lima et al. (2015)	8.400	49.7	650	200	900	20	2.000	600	CONAMA 420/2009 – V.I – Industrial
Cunha e Viglio (2015); Anjos et al. (2016)	> 12.500	229,54	2.399	716	72	1,3	300	60	CONAMA 420/2009 – V.P

*Anjos (1998) elaborou um quadro comparativo com os valores de Pb e Cd encontrados em diversos países para indicar a contaminação dos solos superficiais em uma área industrial. O autor comparou os valores de Pb e Cd encontrados na Plumbum com os valores de 18.500 e 160 ppm encontrados na Grécia e nos Estados Unidos, respectivamente, conforme citado em Kabata e Pendias (1984), e concluiu que os valores de Pb e Cd encontrados nos solos da metalurgia estavam bastante elevados.

Aplicação do método geoestatístico descritivo aos valores de chumbo, cádmio, zinco e cobre da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda

A partir dos valores da Tabela 1, todos os elementos analisados apresentaram altas concentrações, principalmente em locais que distam 6,3 m (ponto 9) e 100 m (ponto 13) da chaminé, o que condiz com os estudos realizados por Rabelo (2010). O autor afirma que as deposições atmosféricas contribuíram para o enriquecimento desses elementos durante o período de alta produção da metalurgia, onde apenas o Cu apresentou baixa concentração na distância de 100 m.

A estatística descritiva permitiu extrair os valores médios, a mediana, os máximos e mínimos, o desvio padrão, o coeficiente de variação (CV), além de outros parâmetros, conforme a Tabela 8.

Em posse dos resultados da Tabela 8, nota-se que os valores de desvio padrão, para todos os elementos analisados, apresentaram-se muito superior aos valores da média, o que sugere a interpretação de que a malha amostral utilizada na aquisição desses dados foi totalmente aleatória e desprovida de qualquer padrão de distribuição representativo, para caracterizar a contaminação superficial de todo o território situado dentro do site da Plumbum.

Conforme Rossi e Deutsch (2013), o CV, quando acima de 0,7, indica a necessidade de coletar mais amostras para que sejam representativas em um espaço amostral. Ao analisar os valores de CV de Pb, Cd, Zn e Cu, percebe-se que, para aumentar a confiabilidade dos dados coletados no site da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, seriam necessários um volume numeroso de amostras coletadas e um espaçamento amplo e regular entre elas.

Outra aplicabilidade dos valores de CV está associada ao enquadramento dos dados quanto a sua distribuição, que pode ser do tipo normal ou lognormal. Baseado em Sinclair e Blackwell (2002), um valor de CV inferior a 0,5 indica que a melhor distribuição dos dados é do tipo normal, ao passo que o valor de CV superior a 0,5 indica que a melhor distribuição é a do tipo lognormal. Conforme essa lógica, a melhor distribuição a ser utilizada nos valores encontrados no site da Plumbum é do tipo lognormal, pois os valores de CV estão superiores a 0,5.

No que se refere aos valores das concentrações, os pontos 3 e 13 chamam bastante a atenção, especialmente para os elementos Pb e Cd. Em ambos os pontos, as concentrações são relativamente altas, principalmente para o ponto 3, que dista 400 m da chaminé. Os pontos supramencionados ocupam áreas de meia encosta, com variação altimétrica de 23 e 27 m, respectivamente, e descarta-se a possibilidade de enriquecimento oriunda das deposições atmosféricas antigas.

A influência topográfica e a presença de estruturas do tipo fendas e gilgai, associadas ao solo em questão, são fatores relevantes para explicar o enriquecimento desses metais na superfície. As isolinhas sobre uma imagem de satélite no site da Plumbum facilitam a visualização dessas concentrações em locais não amostrados (Figura 2).

CONCLUSÃO

A contaminação do solo de Santo Amaro na Bahia por metais tóxicos, mesmo após 28 anos de encerramento das atividades da Plumbum, consiste em um grave problema ambiental presente na vida de muitas pessoas que residem, principalmente,

Tabela 8. Geoestatística descritiva aplicada aos dados da Tabela 1.

Especificação	Elementos analisados			
	Pb	Cd	Zn	Cu
Mínimo	180,00	4,00	81,00	20,00
Quartil 25%	6.145,000	100,000	1.745,000	515,000
Mediana	1.259,00	13,00	207,00	65,50
Quartil 75%	32.400,000	392,500	5.000,000	785,000
Máximo	12.500,00	230,00	2.399,00	716,00
Média	2.611,38	43,88	440,00	115,56
Variância	1,06E+07	4083,32	330891,47	27870,13
Desvio padrão	3.252,63	63,90	575,23	166,94
Coeficiente de Variação (%)	124,56	145,64	130,73	144,46
CV/100	1,2	1,5	1,3	1,4
Assimetria (g1)	2,15	2,13	2,99	3,51
Curtose (g2)	5,15	4,20	9,82	13,00

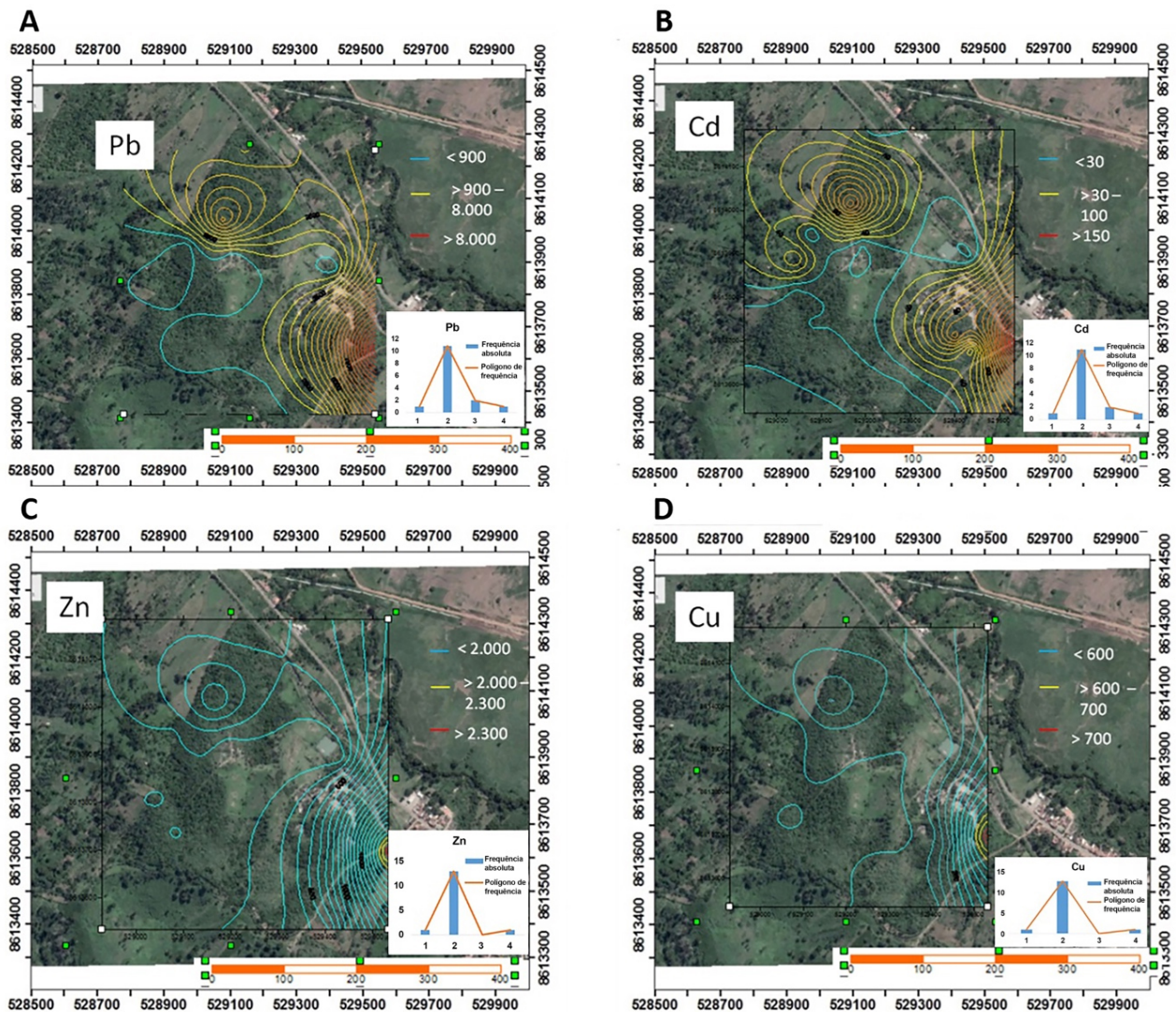


Figura 2. Imagem de satélite com o mapa de isolinhas de concentração dos metais analisados, com ênfase nos valores de (A) chumbo, (B) cádmio, (C) zinco e (D) cobre no sítio da Plumbum e o valor de referência permitido para uma área industrial, conforme a Resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

em áreas próximas à metalúrgica. Assim, a avaliação da evolução das pesquisas sobre as concentrações de metais no solo realizadas na primeira, segunda e terceira fases deste estudo permitiu indicar que as informações coletadas a respeito da avaliação dos solos contaminados tiveram diferentes objetivos, metodologias e valores de referências. Esses fatos impossibilitaram a comparação dessas contribuições científicas para uma avaliação atemporal da contaminação desses metais tóxicos no solo da Plumbum, desde o ano de 1990 até 2016.

A aplicação do método geostatístico descritivo aos valores analíticos amostrados no site da Plumbum, por Anjos et al. (2016), permitiu indicar as áreas de influência da

contaminação, mesmo em locais não amostrados. Os valores de desvio padrão e CV mostraram-se elevados, significando que os dados foram coletados de forma aleatória, sem um padrão de distribuição representativo, o que impossibilita uma interpretação mais precisa da situação atual da contaminação no site da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda. Diante disso, sugere-se que seja realizada uma complementação aos dados iniciais de Anjos et al. (2016), com aplicação de malhas amostrais regulares que abranjam todo o sítio da metalurgia e, por conseguinte, objetivando confirmar a expectativa da redução dessa contaminação por atenuação natural monitorada em todo o sítio da Plumbum.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (IGEO/UFBA), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) a bolsa de estudo para a realização da pesquisa e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM-RJ).

REFERÊNCIAS

- Andrade, L. C., Tiecher, T. (2016). A terminologia dos elementos: pesados, traços ou tóxicos? *Boletim Informativo do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, (10), 1-5.
- Andrade, M. G., Melo, V. F., Gabardo, J., Souza, L. C. P., Reissmann, C. B. (2009). Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(6), 1879-1888. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600037>
- Anjos, J. A. S. A. (1998). *Estratégias para remediação de um sítio contaminado por metais pesados – estudo de caso*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 157 p.
- Anjos, J. A. S. A. (2003). *Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA*. Tese (Doutorado). São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 227 p. <https://doi.org/10.11606/T.3.2003.tde-28042004-094552>
- Anjos, J. A. S. A., Cunha, F., Vigílio, E. (2016). Caracterização do solo contaminado por metais tóxicos dentro da área industrial da Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA, Santo Amaro/Ba-Brasil. *XLVIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Porto Alegre: SBG. Disponível em: <http://cbg2017anais.siteoficial.ws/anais48cbgcompleto.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2018.
- Anjos, J. A. S. A., Sánchez, L. E. (1997). Caracterização da escória como fonte poluidora – Estudo de caso da Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA., Santo Amaro da Purificação, BA. *I Workshop sobre áreas contaminadas*. São Paulo, p. 39-42.
- Anjos, J. A. S. A., Sánchez, L. E. (2000). Remediation of a lead and cádmium contaminated site through a wetland. *7 International FZK-TNO Conference*. Leipzig, Thomas Telford, v. 1, p. 658-661.
- Asevedo, L. P. (2012). *Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As E Cu) Santo Amaro da Purificação, Bahia*. Dissertação (Mestrado). Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Disponível em: <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/handle/123456789/670>. Acesso em: 30 nov 2019.
- Bahia. (1996). *Plano diretor de recursos hídricos*. Bacias do Recôncavo Norte e Inhambupe. Salvador: Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Habitação/Superintendência de Recursos Hídricos.
- Brasil. (2003). Fundação Nacional de Saúde (Funasa). *Avaliação de risco à saúde humana por metais pesados em Santo Amaro da Purificação, Bahia*. Brasil: Funasa.
- Brasil. (2009). Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009*. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=115509>. Acesso em: 3 jan. 2022.
- Brasil. (2013). Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013*. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=13149>. Acesso em: 3 jan. 2022.
- Costa, A. C. A. (2001). *Avaliação de alguns aspectos do passivo ambiental de uma metalurgia de chumbo em Santo Amaro da Purificação, Bahia*. Dissertação (Mestrado). Salvador: Universidade Federal da Bahia. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/20610/1/Dissert_Costa%20A%20C%20A.pdf. Acesso em: 3 jan. 2022.
- Costa, O. D. A. V., Souza, J. P., Santos, J. A. G., Souza, L. S., Almeida, M. C., Bomfim, M. R. (2015). Classificação de solos contaminados por metais pesados em Santo Amaro-Ba. *XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Natal: SBGS, 4 p.
- Cunha, F. G., Viglio, E. P. (2015). *Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Subaé - Estado da Bahia*. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, 163 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18057>. Acesso em: 12 ago. 2020.
- De Andrade Lima, L. R. P., Bernardez, L. A. (2010). Characterization of the heavy metals contamination due to a lead smelter in Bahia, Brazil. In: A. H.-J. Siegmund, L. Centomo, C. Geenen, N. Piret, G. Richards, Ralph I. Stephens (Eds.). *Lead Zinc*. Hoboken: John Wiley & Sons and The Metals & Materials Society (TMS), p. 917-927. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287618472>. Acesso em: 16 dez. 2021.

- De Andrade Lima, L. R. P., Bernardez, L. A. (2013). Letter to the editor Regarding a study of the routes of contamination by lead and cadmium in Santo Amaro, Brazil. *Environmental Technology*, 34(20), 2903-2904. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.788071>
- De Andrade Lima, L. R. P., Bernardez, L. A. (2017). Characterization of the soil contamination around the former primary lead smelter at Santo Amaro, Bahia, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 76, 470. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6791-6>
- De Andrade Lima, L. R. P., Santos, M. G., Bernardez, L. A. (2015). Caracterização e tratamento do solo contaminado na região da fundição de chumbo de Santo Amaro. *XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*. Disponível em: [https://www.artigos.entmme.org/download/2015/aproveitamento_e_disposicoes_de_rejeitos/DE%20ANDRADE%20LIMA,%20L.R.P._SANTOS,%20M.G._BERNARDEZ,%20L.A.%20-%20CARACTERIZA%20O%20E%20TRATAMENTO%20DO%20SOLO%20CONTAMINADO%20NA%20REGI%20O%20DA%20FUNDI%20C%20O%20DE%20CHUMBO%20DE%20SANTO%20AMARO%20\(BAHIA\).pdf](https://www.artigos.entmme.org/download/2015/aproveitamento_e_disposicoes_de_rejeitos/DE%20ANDRADE%20LIMA,%20L.R.P._SANTOS,%20M.G._BERNARDEZ,%20L.A.%20-%20CARACTERIZA%20O%20E%20TRATAMENTO%20DO%20SOLO%20CONTAMINADO%20NA%20REGI%20O%20DA%20FUNDI%20C%20O%20DE%20CHUMBO%20DE%20SANTO%20AMARO%20(BAHIA).pdf). Acesso em: 1º dez. 2021.
- Duffus, J. H. (2002). “Heavy metals” a meaningless term? *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793-807. <https://doi.org/10.1351/pac200274050793>
- Hodson, M. E. (2004). Heavy metals - geochemical bogey men? *Environmental Pollution*, 129(3), 341-343. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.11.003>
- Lima, G. K. (2014). *Caracterização de vertissolos do nordeste brasileiro*. Dissertação (Mestrado). Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. Disponível em: http://ww3.pgs.ufrpe.br/sites/ww2.novoprppg.ufrpe.br/files/documentos/glevia_kamila_lima_0.pdf. Acesso em: 1º dez. 2021.
- Lyrio, A., Garrido, Y. (2019). Chumbo Grosso: especialistas confirmam que escória de chumbo expõe população a riscos. *Correio*. Disponível em: <https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/chumbo-grosso-especialistas-confirmam-que-escoria-de-chumbo-expoe-populacao-a-riscos/#:~:text=%E2%80%9CO%20chumbo%20leva%20a%20problemas,e%20a%20-exposi%20C%20A7%20C%20A3o%20ao%20metal>. Acesso em: 30 nov 2019.
- Kede, M. L. F. M. (2014). *O uso de fosfatos associados a fitorremediação em solos de Santo Amaro (BA) contaminados por metais tóxicos*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: UERJ.
- Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/14293>. Acesso em: 30 nov 2019.
- Machado, S. L., Ribeiro, L. D., Kiperstok, A., Botelho, M. A. B., Carvalho, M. F. (2004). Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação – BA. Artigotécnico. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 9(2), 140-155. Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v9n2/p140a155.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2022.
- Machado, S. L., Sampaio, M. P., Carvalho, M. F. (2003). Contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação - BA - Modelagem numérica do transporte de poluentes. *V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*. Porto Alegre: ABMS.
- Moon, K. A., Chae, H. K. (2007). What is the meaning of heavy metals?: a case study in Korean Textbooks. *2 NICE Symposium Taipei*. Taiwan. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.528.3836&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 1º dez. 2021.
- Pereira, A. C. C., Lima, E. S. A., Santos, A. M., Amaral Sobrinho, N. M. B. (2015). Análise e monitoramento de metais pesados no solo. In: F. S. C. Adelaide, N. C. Aureliano (Eds.). *Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo*. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, p. 71-89. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286453977_ANALISE_E_MONITORAMENTO_DE_METAIS_PESADOS_NO_SOLO. Acesso em: 1º dez. 2021.
- Rabelo, T. S. (2010). *Estudo da contaminação remanescentes de chumbo e cádmio no município de Santo Amaro - BA*. Dissertação (Mestrado). Salvador: Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/18730>. Acesso em: 1º dez. 2021.
- Romão, M. V. V. (2014). *Relação solo-vegetação e anatomia foliar das principais espécies ocorrentes em área contaminada por metais pesados em Santo Amaro, Bahia*. Dissertação (Mestrado). Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgsolos/images/DISSERTA%20C%2087%20C%2095ES/2014/Disserta%20C%20A7%20C%20A3o_SQE_-_Marcus_Vinicius_Varj%20C%20A3o_Rom%20C%20A3o.pdf. Acesso em: 1º dez. 2021.
- Rossi, M. E., Deutsch, C. V. (2013). *Mineral resource estimation*. Nova York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5717-5>

Santos, J. F. (1995). *Parecer técnico sobre análise da situação do enquadramento da escória e forma de disposição final*. Salvador: Centro de Recursos Ambientais/Secretaria do Planejamento, Ciências e Tecnologia. (Parecer Técnico nº 055/95 – SFA.)

Santos, N. M. (2012). *Ácidos húmicos e carvão vegetal ativado na redução da disponibilidade de metais pesados em solo contaminado*. Dissertação (Mestrado). Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Disponível em: <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/668/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20SQE%20-%20Nielson%20Machado%281%29.pdf>. Acesso em: 1º dez. 2021.

Santos, N. M., Accioly, A. M. A., Nascimento, C. W. A., Santos, J. A. G., Silva, I. R. (2014). Ácidos húmicos e carvão vegetal ativado como amenizantes em solo contaminado por chumbo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(1), 345-351. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100035>

Sinclair, A., Blackwell, G. (2002). *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511545993>

Souza, J. P. (2014). *Caracterização de solos de uma topossequência, em área contaminada por rejeitos de mineração de chumbo*. Dissertação (Mestrado). Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgsolos/images/DISSERTA%C3%87%C3%95ES/2014/Disserta%C3%A7%C3%A3o_SQE_-_Joseane_Passos_de_Souza.pdf. Acesso em: 1º dez. 2021.

Su, C., Jiang, L., Zhang, W. (2014). A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*, 3(2), 24-38. Disponível em: [http://www.iaees.org/publications/journals/environsc/articles/2014-3\(2\)/a-review-on-heavy-metal-contamination-in-the-soil-worldwide.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/environsc/articles/2014-3(2)/a-review-on-heavy-metal-contamination-in-the-soil-worldwide.pdf). Acesso em: 3 jan. 2022.

Tavares, T. M. (1990). *Avaliação dos efeitos das emissões de cádmio e chumbo em Santo Amaro, BA*. Tese (Doutorado). Salvador: Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000734035>. Acesso em: 3 jan. 2022.