



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
GEOLOGIA AMBIENTAL, HIDROGEOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EVOLUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS
TÓXICOS: O CASO DA PLUMBUM MINERAÇÃO E
METALURGIA LTDA, SANTO AMARO, BAHIA, BRASIL

ALDENEIDIANE SANTANA DOS SANTOS

SALVADOR

2020

**EVOLUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS
TÓXICOS: O CASO DA PLUMBUM MINERAÇÃO E
METALURGIA LTDA, SANTO AMARO, BAHIA, BRASIL**

Aldeneidiane Santana dos Santos

Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Sebastião Araujo dos Anjos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

SALVADOR

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e Tecnologias Prof. Omar Catunda, SIBI - UFBA.

S237 Santos, Aldeneidiane Santana
Evolução da contaminação do solo por metais tóxicos: o caso da Plumbum mineração e metalurgia LTDA, Santo Amaro, Bahia, Brasil - Aldeneidiane Santana dos Santos. – Salvador, 2020.
35 f.

Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Sebastião Araujo dos Anjos
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 2020.

1. Solos - Contaminação. 2. Metais tóxicos. 3. Monitoramento Ambiental 4. Santo Amaro. I. Anjos, José Ângelo Sebastião Araujo dos. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDU 546.3

ALDENEIDIANE SANTANA DOS SANTOS

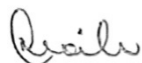
**EVOLUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS
TÓXICOS: O CASO DA PLUMBUM MINERAÇÃO E
METALURGIA LTDA, SANTO AMARO, BAHIA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos em 13/11/2020.

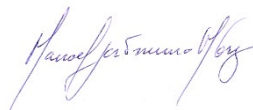
DISSERTAÇÃO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos
(Orientador - PPGG/UFBA)



Profa Dra. Maria Eloisa Cardoso da Rosa
Examinadora Externa UFBA



Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz
Examinador Interno PPGG/UFBA

Salvador – BA
2020

Dedico a Alda Virginia (minha mãe) e a José Ubiratan (meu pai) que não me deixaram desistir e sempre confiaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES - Código de financiamento 001. Agradeço ao Programa de Pós Graduação de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB, pela bolsa de estudo para a realização da pesquisa e ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM-RJ. Agradeço também a Deus, aos meus familiares, a meu orientador, José Ângelo, e aos meus amigos e professores que me apoiaram nos momentos que mais precisei.

Tudo posso naquele que me fortalece.

Filipense 4:13

RESUMO

A contaminação dos solos por metais tóxicos oferece risco a saúde pública e é uma preocupação mundial que ganhou visibilidade partir da década de 80. A metalurgia de chumbo instalada no município de Santo Amaro, Bahia, Brasil representa um dos maiores descasos de contaminação e racismo ambiental e tem sido tema de discussão, sobretudo nos últimos quarenta anos. Para avaliar a qualidade de um solo contaminado são necessários critérios e diretrizes específicos respeitando a heterogeneidade desse recurso. O uso de valores orientadores de referência de qualidade de outros países e mesmo do Brasil, mas de outros Estados, podem causar interpretações geoquímicas não condizentes com a realidade local. A área de estudo está situada nas antigas instalações da Plumbum e o objetivo dessa pesquisa consiste em avaliar durante o período de 1990 a 2016, os protocolos que foram utilizados para caracterização dos teores de metais tóxicos, por meio de uma série de trabalhos publicados, totalizando de 17 (dezessete) documentos. A metodologia aplicada restringe-se a Pesquisa Bibliográfica, dividida em 3 (três) fases distintas, tendo como principais indicadores para cada fase os períodos das publicações, e algum fato que marcasse abruptamente o desenvolvimento das novas pesquisas ou direcionamentos sobre a contaminação dos solos. A primeira fase corresponde ao período de 1990 a 2001 e é marcada pelos estudos que avaliaram apenas Pb e Cd. A segunda fase corresponde ao período 2002 a 2008 e é marcada pela abrangência de outros elementos, o aprimoramento dos protocolos analíticos, bem como possíveis técnicas de remediação. A terceira fase inicia-se com os estudos posteriores a resolução 420/2009 do CONAMA até 2016. Por fim, aplicou-se a geoestatística descritiva aos dados analíticos de Anjos et al. (2016). Constatou-se que ao passar dos anos, principalmente depois de 2009, os valores de referência de qualidade para a região de Santo Amaro ainda não foram definidos por entidades ambientais do Estado e os trabalhos consultados utilizaram metodologias diferentes, portanto, não puderam ser comparados.

Palavras-chave: Metais Tóxicos. Solos. Monitoramento. Ambiental. Santo Amaro.

ABSTRACT

The contamination of soils by toxic metals represents a risk to public health and is a worldwide concern that has gained visibility since the 1980s. The lead metallurgy installed in the city of Santo Amaro, Bahia, Brazil represents one of the greatest neglect in respect to contamination and environmental prejudice and it has been a topic of discussion, especially in the last forty years. In order to assess the quality of a contaminated soil, specific criteria and guidelines are necessary, respecting the heterogeneity of this resource. The use of quality reference guiding values from other countries and even from Brazil, but from other states, can cause geochemical interpretations that are not consistent with the local reality. The study area is located in the former facilities of Plumbum and the objective of this research is to evaluate, during the period from 1990 to 2016, the protocols that were used to characterize the levels of toxic metals, through a series of published papers, totalling 17 (seventeen) documents. The applied methodology is restricted to Bibliographic Research and divided into 3 (three) distinct phases, having as main indicators for each phase the periods of publications as well as some fact that abruptly marked the development of new research or its directions on soil contamination. The first phase corresponds to the period from 1990 to 2001 and it is marked by studies that evaluated only Pb and Cd. The second phase corresponds to the period from 2002 to 2008 and it is marked by the study of other elements, the improvement of analytical protocols, as well as possible remediation techniques. The third phase begins with subsequent studies to CONAMA Resolution 420/2009 until 2016. Finally, descriptive geostatistics were applied to the analytical data of Anjos et al. (2016). It was found that over the years, especially after 2009, the quality reference values for the Santo Amaro region have not yet been defined by state environmental entities and the works consulted used different methodologies, therefore, they could not be compared.

Keywords: Toxic Metals, Soils, Monitoring; Environmental, Santo Amaro.

SUMÁRIO

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	10
CAPITULO 2 - O ARTIGO: EVOLUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS TÓXICO: O CASO DA PLUMBUM MINERAÇÃO E METALURGIA LTDA, SANTO AMARO, BAHIA, BRASIL	18
CAPITULO 3 - CONCLUSÕES	38
ANEXO A - REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOLOGIA USP. SÉRIE CIENTÍFICA.....	39
ANEXO B - COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO	41

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

O problema da contaminação do solo e das águas subterrâneas é atual, evidente e incontestável (Ferreira, Lofrano, & Morita, 2020, p. 115). Conforme Júnior, Mello, Schaefer, Dussin, & Abrahão (2008) e Fernández (2017) o assunto tem se tornado uma preocupação mundial, principalmente, para pesquisadores e membros da sociedade, por causa dos efeitos negativos provocados à saúde pública e ao meio ambiente. Entretanto, segundo Ferreira et.al., (2020), o tema vem ganhando destaque nas últimas três décadas, em diversos países industrializados, sobretudo nos Estados Unidos e na Europa.

Neste cenário, de acordo com o *United States Government Accountability Office* (USGAO, 2015) citado em Ferreira et al. (2020) foi estimado que, em 2013, 39 milhões de pessoas viviam a menos de 5 km das 1.158 áreas contaminadas da lista prioritária do *Superfund*. Do mesmo modo, os dados do último levantamento realizado em 2016, na União Europeia (UE), revelaram que existiam 648.964 áreas registradas em que foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras do solo nos 28 países-membros e do total de áreas, 67.839 estavam sob investigação, 78.193 não necessitavam de remediação e 63.089 já tinham sido remediadas. (Pérez & Eugênio, 2018 como citado em Ferreira et al., 2020, p. 115).

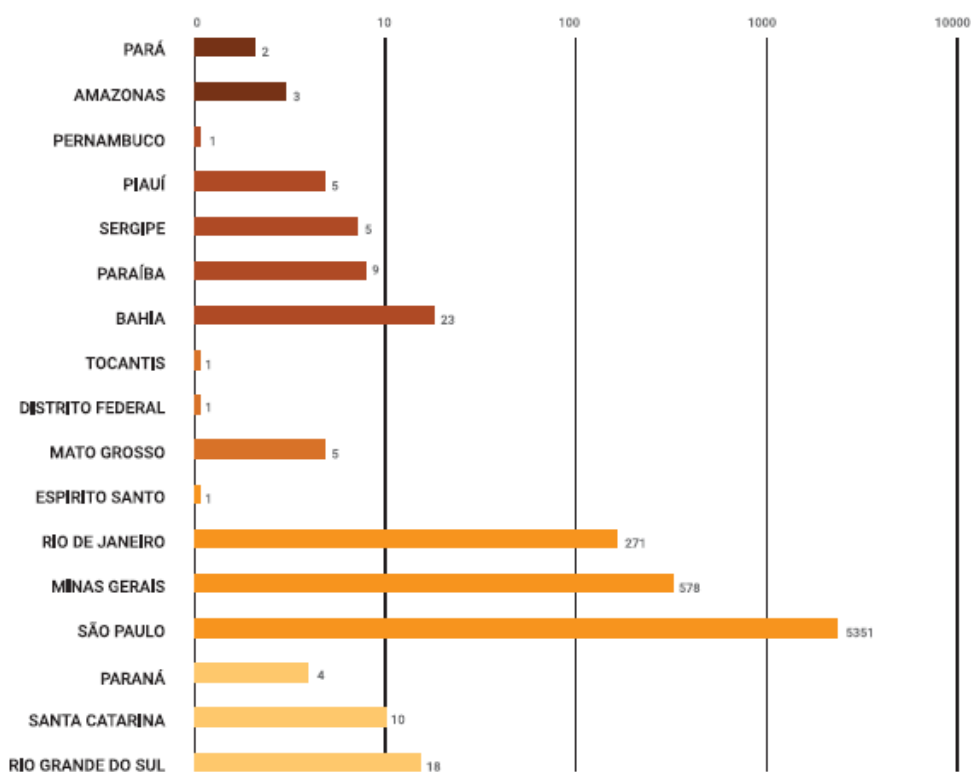
Todavia, a problemática global do gerenciamento das áreas contaminadas persiste, sobretudo em países menos desenvolvidos (Ferreira et al., 2020, p. 116) onde, para Coulon et al. (2016), ou a legislação não existe ou ainda é insuficiente para o enfrentamento eficaz do problema. Além disso, Ferreira et al. (2020) afirma que os recursos econômicos desses países são muito escassos ou inexistentes, postergando ainda mais as medidas necessárias à remediação dessas áreas para as gerações futuras e ocasionando assim a perda absoluta da qualidade do recurso, tornando certas áreas irrecuperáveis e perdas permanentemente.

Nesse sentido, o Brasil, em 2016, contabilizou 6288 sítios contaminados, conforme o levantamento realizado pelo Panorama de Gerenciamento de Áreas Contaminadas - GAC (Maximiniano et al., 2016) em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, com a Associação das Empresas de Consultoria e Engenharia Ambiental - AESAS e também com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, como pode ser observado na figura 1.

Ainda no cenário brasileiro, o Estado de São Paulo foi o pioneiro na construção da lista de valores orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, baseado na metodologia holandesa (Pereira et al., 2015). Entretanto, apenas em 2009, foi disponibilizada uma metodologia específica para a avaliação dos solos com suspeita de contaminação confirmada para os demais Estados da Federação, a resolução de número 420 de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que dispõe sobre critérios e valores orientadores para a qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental em áreas contaminadas por substâncias de origem antrópica (Brasil, 2009). A partir desta publicação, determina-se que qualquer gerenciamento de áreas contaminadas deverá conter procedimentos e ações voltadas para eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana; eliminar ou minimizar os riscos ao meio ambiente; evitar danos aos demais bens e proteger o bem-estar público durante a execução de ações para reabilitação (Lima, 2015).

Atualmente, grande parte dos Estados brasileiros não possui ou está em processo de pesquisa dos valores orientadores (Reis et al., 2017). Para os autores, os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Sul dispõem de dispositivos legais que norteiam os valores para alguns elementos, porém carecem de uma lista mais completa. Em contrapartida, na Bahia os estudos que estão sendo realizados podem direcionar a determinação destes valores, porém ainda sem reconhecimento do órgão ambiental competente. O grande desafio encontra-se em quantificar e qualificar a extensão total das áreas que sofreram algum tipo de contaminação e os danos ambientais decorrentes desse efeito, pois os trabalhos realizados, em sua maioria, não apresentam uniformidade na coleta dos dados e em procedimentos analíticos, tornando ainda mais complicado as tomadas de decisões. Estes resultados refletem o não cumprimento da legislação vigente por parte do Estado, onde a atual norma (nº460 de 2013) acrescenta ao art. 8 que os VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até dezembro de 2014, de acordo com o procedimento estabelecido no Anexo I (Brasil, 2013).

Figura 1: Número total de áreas contaminadas, por Estado, no Brasil. As informações contidas indicam a quantidade de sítios contaminados que estavam disponíveis no banco de dados dos seus respectivos órgãos competentes e as cores são de autoria do Panorama GAC. É possível observar a maior concentração das áreas contaminadas na região sudeste, principalmente em São Paulo (85%) dentre todas as áreas cadastradas no Panorama GAC 2016.



Fonte: Panorama GAC - Maximiniano et al. (2016)

O solo é um sistema biogeoquímico complexo com funções ecológicas, econômicas, sociais e culturais que desempenha um papel fundamental para a atividade humana, para a sobrevivência dos ecossistemas e da vida em geral (Ribeiro, 2013). Desse

modo, Costa et al. (2015) afirma que a alta capacidade de adsorção desse recursos natural produz uma ação protetora contra os efeitos negativos decorrentes da contaminação, impossibilitando que outros compartimentos ambientais sejam degradados. A alta concentração de "metais tóxicos"¹ no solo, conforme Silva et al. (2018), pode estar associada tanto ao material geológico que deu origem ao solo quanto a contribuições antropogênicas.

Dentre os dez principais eventos ambientais que ocorrem no mundo, dois desses estão relacionados à contaminação por elementos tóxicos, conforme Yang e Sun (2009) citado em Su et al. (2014). Entretanto, existem diferentes fontes de origem antrópica que contribuem para a liberação desses elementos nos solos, dentre elas, as atividades industriais, em especial o setor metalúrgico, é o que produz altas quantidades de resíduos sólidos ricos em metais pesados, principalmente, Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Cromo (Cr), que intensificam a degradação do solo superficial, desencadeando um progressivo grau de contaminação aos demais componentes do meio ambiente, conforme Andrade et al. (2009).

Em função da toxicidade, autores como Duffus (2002), Hodson (2003) e Moon e Chae (2007) explicam que a expressão "metais pesados", comumente utilizada para definir uma série de elementos que são altamente tóxicos a 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".

Diante disso, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas objetivando conhecer a dinâmica dos contaminantes no sistema solo, para subsidiar no processo de monitoramento e mitigação de impactos ambientais (Fernández, 2017). Para o autor, a contaminação por metais tóxicos ocupa um lugar de destaque e as pesquisas sobre esse assunto, referente aos solos da região nordeste do Brasil, ainda são bastante limitadas. Para Horckmans et al. (2005) o uso de valores de *background* universais, quando se avalia a concentração de metais em solos, é inadequado, devido as características genéticas do solo que variam de local para local.

Ainda neste contexto, os valores dos teores naturais de substâncias químicas fornecem orientação sobre a condição da qualidade de solo e água subterrânea e são utilizados como instrumentos para prevenção e controle da contaminação e no gerenciamento de áreas contaminadas sob investigação (CETESB, 2005 citado em Pereira et al., 2015).

No Estado da Bahia, a Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC), de propriedade da multinacional Peñarroya, produziu ligas de chumbo no município de Santo Amaro, durante o período de 1960 a 1993, o que desencadeou um dos maiores passivos ambiental por metais tóxicos da história (Anjos, 1998). Segundo Anjos, 1998; 2003; Anjos e Sánchez, 1997 e 2000, estima-se que a COBRAC e posteriormente a Plumbum produziram durante o processo produtivo da metalurgia cerca de 490.000 toneladas de escória enriquecida em metais pesados, principalmente, Chumbo, Cádmio, Zinco, Cobre e Arsênio, sendo que uma quantidade não estimada de escória foi utilizada

¹ Neste trabalho o termo "metais tóxicos" é utilizado em substituição do termo consagrado "metais pesados", conforme a definição de Andrade e Tiecher (2016).

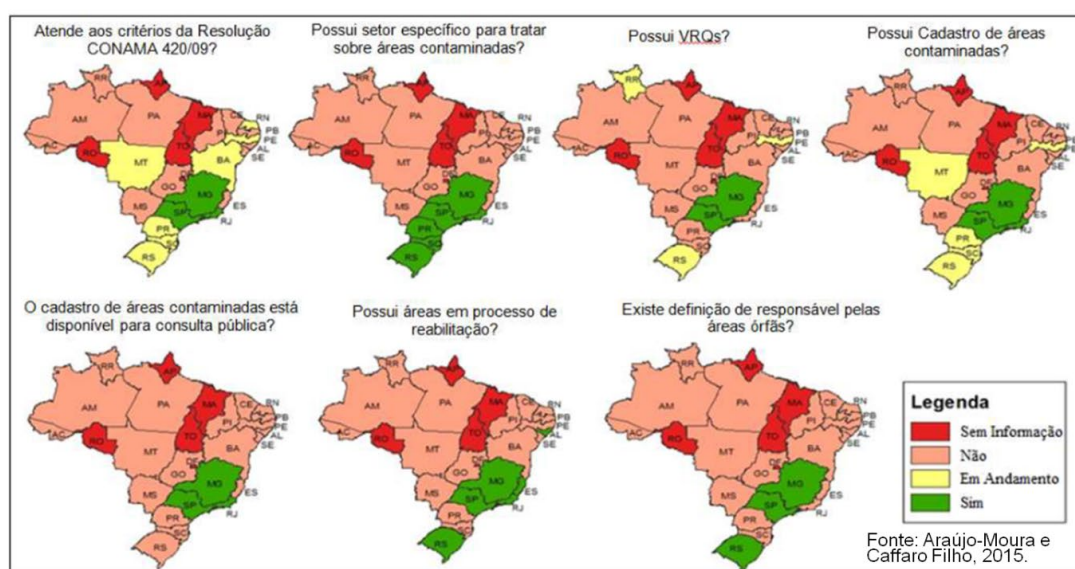
na pavimentação de áreas públicas e privadas, além de efluentes líquidos do processo metalúrgico lançados diretamente no rio Subaé (Brasil, 2003).

Desse modo, a contaminação por metais tóxicos nos solos do município de Santo Amaro é um assunto bastante discutido pela comunidade científica, principalmente nos últimos 30 (trinta) anos, pois as pesquisas sobre o tema começaram na década de 90, com o monitoramento ambiental realizado por Tavares (1990) e Anjos (1998).

Até o ano de 2002, as pesquisas realizadas nos solos de Santo Amaro não consideravam outros elementos além de Chumbo e Cádmiio. A quantificação de Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), e Níquel (Ni), para avaliar o potencial de disponibilidade no solo e sedimento de áreas úmidas (*wetlands*) amostradas dentro das instalações da metalurgia foi, inicialmente, desenvolvido por Anjos (2003). Além disso, Brasil (2003) avaliou a presença de Arsênio (As), Mercúrio (Hg) e Antimônio (Sb) e classificou áreas próximas ao sítio da Plumbum como de perigo urgente para a saúde pública, utilizando o modelo proposto pela *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* – ATDS. Por outro lado, Machado et al. (2004) avaliou as propriedades geomecânicas dos vertissolos de Santo Amaro e a possível técnica de reprocessamento da escória, visando extrair os metais e reduzir os riscos ambientais.

No ano de 2009, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA promulga a resolução de número 420, que disponibiliza critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (Brasil, 2009). Todavia, o avanço do gerenciamento de áreas contaminadas e o cumprimento da legislação ainda é incipiente no Brasil, principalmente, nos Estados da região nordeste, conforme Araújo-Moura e Caffaro Filho (2015) e representada pela figura 2.

Figura 2: Cenário dos estados brasileiros em 2015, após a aplicação do questionário proposto por Araújo-Moura e Caffaro Filho (2015) aos órgãos ambientais estaduais sobre o gerenciamento de áreas contaminadas.



Posteriormente a esta resolução, uma série grandiosa de pesquisas foram realizadas nos solos de Santo Amaro até 2016, tanto na parte externa da metalurgia, quanto em locais dentro da metalurgia. Dentre eles, destacam-se Rabelo (2010); Asevedo

(2012); Santos, (2012); Romão (2014); Kede (2014); Souza (2014); Santos et al. (2014); Costa et al. (2015); CPRM (2015); De Andrade Lima et al. (2015); e Anjos et al. (2016).

REFERÊNCIAS

Andrade, L. C. de, & Tiecher, T. (2016). A terminologia dos elementos: pesados, traços ou tóxicos? *Boletim Informativo do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)*, n10, p. 1-5.

Andrade, M. G. de, Melo, V. de F., Gabardo, J., Souza, L. C. de P. & Reissmann, C. B. (2009). Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. I - Fitoextração. In: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33;1879-1888.

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. In: *I Workshop sobre áreas contaminadas. São Paulo. Resumo Expandido, Cetesb-GTZ-USP*, p. 39 – 42.

Anjos, J. A. S. A. dos (1998). *Estratégias para remediação de um sítio contaminado por metais pesados – estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, p.145.

Anjos, J. A. S. A.; Sánchez, L. E. (2000). Remediation of a lead and cádmium contaminated site through a wetland. In: *Seventh International FZK-TNO Conference*. Leipzig, Thomas Telford, v. 1, p. 658 – 661.

Anjos, J. A. S. A. dos (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 em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2003, p 227.

Anjos, J. A. S. A.; Cunha, F.; Vigilio, E. (2016). Caracterização do solo contaminado por metais tóxicos dentro da área industrial da Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA, Santo Amaro/Ba-Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 48, p 1708, 2016, Porto Alegre - RS. Anais...São Paulo - SP: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016. Disponível em: <<http://cbg2017anais.siteoficial.ws/anais48cbgcompleto.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

Araújo-Moura, A.A.C.; Caffaro Filho, R.A. (2015). Panorama do gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil após a resolução CONAMA 420/09. *Revista Águas Subterrâneas* 29(2): p 202-212.

Asevedo, L. P. (2012). *Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu) Santo Amaro Da Purificação, Bahia*. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

BRASIL. (2003). FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Avaliação de risco à saúde humana por metais pesados em Santo Amaro da Purificação, Bahia.

BRASIL. (2009). CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009.

BRASIL. (2013). CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 460, de 30 de dezembro de 2013.

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 em Química Analítica), Universidade Federal da Bahia.

Costa, C. N.; Brito, M. G.; Vendas, D. F.; Lopes, M.; Caramelo, A. (2015). Solos Contaminados - O Problema e as Soluções de Remediação. Universidade NOVA de Lisboa, p. 1-85. DOI: 10.13140/RG.2.1.4103.6887

Coulon, F.; Jones, K.; Li, H.; Hu, Q.; Gao, J.; LI, F.; Chen, M.; Zhu, Y-G; Liu, R.; Liu, M.; Canning, K.; Harries, N.; Bardos, P.; Nathanail, P.; Sweeney, R.; Middleton, D.; Charnley, M.; Randall, J.; Richell, M.; Howard, T.; Martin, I.; Spooner, S.; Weeks, J.; Cave, M.; Yu, F.; Zhang, F.; Jiang, Y.; Longhurst, P.; Prpich, G.; Bewley, R.; Abra, J.; Pollard, S. (2016). China's soil and groundwater management challenges: lessons from the UK's experience and opportunities for China. In: *Environmental International*, v. 91, p. 196, 200. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.023>.

Da Cunha, F. G. & Viglio, E. P. (2015) - Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Subaé - Estado Da Bahia. Serviço Geológico do Brasil - CPRM -RJ.

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. In: *XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Poços de Caldas-MG*.

Duffus, J. H. (2002). "HEAVY METALS"—A MEANINGLESS TERM? Pure and Applied Chemistry 74 Vol. 74, No. 5, pp. 793–807, 2002.

Fernández, Z. H. (2017). *Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas*. Tese (Doutorado em Ciência). Universidade Federal de Pernambuco.

Ferreira, R.M. Lofrano, F.C. & Morita, D.M. (2020). Remediação de áreas contaminadas: uma avaliação crítica da legislação brasileira. Artigo técnico. *Revista Engenharia Sanitaria Ambiental*, v.25, n.1, jan/fev 2020, p 115-125.

Hodson, M. E. (2004). Heavy metals—geochemical bogey men? In: *Environmental Pollution* 129.

Horckmans, L., Swennen, R., Deckers, J., & Maquil, R. (2005). Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Ducky of Luxembourg. *Catena* v 59, 3, 2005, p 279-304.

Júnior, M. B.; Mello, J. W. V. de; Schaefer, C. E. G. R.; Dussin, T. M. & Abrahão, W. A. P. (2008). Valores de referência local e avaliação da contaminação por zinco em solos adjacentes a áreas mineradas no município de Vazante-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2008, vol.32, n.spe, pp.2883-2893. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700036>.

Lima, A. N. (2015). *Análise do monitoramento da contaminação ambiental do solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropédica*. Dissertação, p. 167.

Lyrio, A.; Garrido, Y. (2019). Chumbo Grosso: especialistas confirmam que escória de chumbo expõe população a riscos. *Jornal CORREIO | Notícias e opiniões*. Disponível em:

<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/chumbo-grosso-especialistas-confirmam-que-escoria-de-chumbo-expoe-populacao-a-rios/#:~:text=%E2%80%9CO%20chumbo%20leva%20a%20problemas,e%20a%20exposi%C3%A7%C3%A3o%20ao%20metal>. Acesso em: 30/11/2019

Kede, M. L. F. M. (2014). *O uso de fosfatos associados a fitorremediação em solos de Santo Amaro (BA) contaminados por metais tóxico*. Tese de doutoramento em Monitoramento e controle ambiental. Rio de Janeiro, 2014.

Machado, S. L., Ribeiro, L. D., Kiperstok, A., Botelho, M. A. B. & Carvalho, M. de F. (2004). Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação – BA. Artigo técnico. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9 - n° 2.

Maximiniano, A. M. de S.; Barbosa, A. M.; Cavani, A. C. M.; Queiroz, A. P.; Guimarães, C. C.; Teixeira, C. E.; Cirani, C. B. S.; Saccoccio, E. M.; Motta, F. G.; Setti, G.; Garcia, L. P.; Araújo, M. M. de; Rissardi, M.; Brito, M.; Yoshikawa, N. K.; Araújo Cunha, R. C. de; Moraes, S. L. de; Tavares, T.; Gomes, T. L.; Tukoff-Guimaraes, Y. B. PANORAMA GAC (2016). Mapeamento da cadeia de gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Moon, K. Ah & Chae, H. K. (2007). What is the Meaning of Heavy Metals?: A Case Study in Korean Textbooks. *Proceeding of the 2nd NICE Symposium Taipei, TAIWAN*.

Pereira, A. C. C., Lima, E. S. A., Santos, A. M. dos & Sobrinho, N. M. B. do A. (2015). *Análise e monitoramento de metais pesados no solo. Cap. 4 In book: Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo*.

Rabelo, T. S. (2010). *Estudo Das Contaminação Remanescentes de Chumbo e Cádmiio no Município de Santo Amaro - BA*. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Reis, F. O., Martinez, E. A., Silva-Júnior, F. M. R. da & Lima, A. C. R. de (2017). Análise dos dispositivos legais nos estados brasileiros perante a Resolução 420/2009. *Revista Âmbito Jurídico* n° 158. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/analise-dos-dispositivos-legais-nos-estados-brasileiros-perante-a-resolucao-420-2009>. Acesso em 10/03/2020.

Ribeiro, M. A. do C. (2013). *Contaminação do Solo por Metais Pesados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia - Lisboa.

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. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

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 n° 055/95 - SFA).

Santos, N. M. (2012). *Ácidos húmicos e carvão vegetal ativado na redução da disponibilidade de metais pesados em solo contaminado*. Dissertação. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

Santos, N. M. dos, Accioly, A. M. de A., Nascimento, C. W. A. do, 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*, vol.38 no.1 Viçosa jan./fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100035>.

Silva, C. M. C. A. C., Barbosa, R. S., Nascimento, C. W. A. do, Silva, Y. J. A. B. da, Silva, Y. J. A. B. da (2018). Geochemistry and Spatial Variability of Rare Earth Elements in *Soils under Different Geological and Climate Patterns of the Brazilian Northeast*. *Rev Bras Cienc Solo*.

Souza, J. P. de (2014). *Caracterização de Solos de uma Topossequência, em Área Contaminada por Rejeitos de Mineração de Chumbo*. Dissertação. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

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*, 2014, 3(2): 24-38.

Tavares, T. M. (1990). *Avaliação dos efeitos das emissões de Cádmio e Chumbo em Santo Amaro, BA* - Tese. Universidade Federal da Bahia.

USGAO - United States Government Accountability Office (2015). Trends in Federal Funding and Cleanup of EPA's Nonfederal National Priorities List Sites. Washington, D.C.: US Government Printing Office. Disponível em: <<https://www.gao.gov/assets/680/672734.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

CAPITULO 2

O ARTIGO: EVOLUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SOLO POR METAIS TÓXICO: 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 Santos¹³, José Ângelo Sebastião Araújo dos Anjos²³

¹ Aluna de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geologia Universidade Federal da Bahia - PPGGEO-UFBA e bolsista FAPESB (aldeneidiane@gmail.com)

² Mestre e Doutor USP, Professor do curso de Geologia e membro do PPGGEO da Universidade Federal da Bahia (jose.anjos@ufba.br)

³ Universidade Federal da Bahia - UFBA, Instituto de Geociências - IGEO-UFBA, Programa de Pós Graduação em Geologia - PPGG, Rua Barão de Jeremoabo, s/n - Ondina - Salvador - BA, CEP: 40170-290. Telefone: (71) 3283-8534.

Resumo

A metalurgia de Chumbo, localizada em Santo Amaro, abandonada em 1993 poluiu e contaminou diversos compartimentos ambientais, além de afetar severamente a saúde da população que reside, principalmente, em seu entorno. O objetivo da pesquisa foi avaliar a evolução dos protocolos utilizados nos dezessete estudos realizados nos solos contaminados provenientes da Plumbum Mineração e Metalúrgica LTDA. Adotou-se como metodologia científica a pesquisa bibliográfica, na qual foram estabelecidas três fases distintas sobre a evolução desses estudos, agrupadas pela época x fato(s) marcante(s) que caracterizassem as pesquisas, além disso, aplicou-se a geoestatística aos dados analíticos do monitoramento ambiental realizado proposto para a área. A primeira fase corresponde ao período de 1990 a 2001 e é marcada pelos estudos que avaliaram apenas Chumbo e Cádmio. A segunda corresponde ao período 2002 a 2008 e é marcada pela abrangência de outros elementos, o aprimoramento dos protocolos analíticos, bem como possíveis técnicas de remediação. A terceira inicia-se com os estudos posteriores a resolução 420/2009 do CONAMA até 2016. Conclui-se que, a falta da execução do regulamento específico para avaliação desses solos possibilitou em erros analíticos e conclusões inconsistentes sobre as reais concentrações desses metais no solo de 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, Solos, Contaminação, Metais Tóxicos, Plumbum.

Abstract

The lead metallurgy, located in Santo Amaro, which was abandoned in 1993, polluted and contaminated several environmental compartments, in addition to severely affecting 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 Metalúrgica LTDA. Bibliographic research was adopted as the scientific methodology, three distinct phases were linked to the evolution of these studies, which were grouped by the time X 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 corresponds to the period from 1990 to 2001 and it is marked by studies that evaluated only Chumbo and Cadmium. The second corresponds to the period from 2002 to 2008 and is marked by the analysis of other elements, the improvement of analytical protocols, as well as possible remediation techniques. The third phase starts with subsequent studies to CONAMA Resolution 420/2009 until 2016. It is concluded that the lack of implementation of the 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 the future researches.

Keywords: Environmental monitoring, Soils, Contamination, Toxic metals, Plumbum

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, este 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), dentre os dez principais eventos ambientais que ocorrem no mundo, dois desses estão relacionados à contaminação por elementos tóxicos.

Desse modo, para Andrade et al. (2009) é consagrado na literatura científica que dentre as atividades industriais que causam riscos de contaminação nos solos, por metais pesados, o setor metalúrgico é um dos que mais se destaca por produzir grandes quantidades de resíduos ricos nesses poluentes, em especial Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Cromo (Cr).

Em função da toxicidade, autores como Duffus (2002), Hodson (2003) e Moon e Chae (2007) explicam que a expressão "metais pesados", comumente utilizada para definir uma série de elementos que são altamente tóxicos a 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"¹.

Dentro deste contexto de contaminação por metais tóxicos, a Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC), de propriedade da multinacional Peñarroya, produziu 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).

Neste 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 As, sendo que uma quantidade não estimada de escória foi utilizada na pavimentação de obras públicas e privadas, conforme Anjos (1998 e 2003) e Anjos e Sánchez (1997 e 2000). Além disso, efluentes líquidos do processo metalúrgico foram lançados diretamente no rio Subaé (Brasil, 2003).

Em função desse uso inadequado, a toxicidade da escória vem sendo discutida no meio acadêmico e divergindo em função dos diferentes métodos analíticos empregados nas análises químicas para determinação dos teores de metais tóxicos.

Assim, Santos (1995) Anjos (1998 e 2003), Machado et al. (2004) e Lyrio e Garrido (2019) admitem que a escória representa a principal fonte de contaminação do solo da região da antiga metalúrgica e da área urbana. Os autores supracitados utilizaram laboratórios credenciados e por meio da ABNT (Associação Brasileira de Normas

¹ Neste artigo, o termo "metais tóxicos" é utilizado em substituição do termo consagrado "metais pesados", conforme a definição de Andrade e Tiecher (2016).

Técnicas), em especial a NBR 10.004 – Classificação de resíduo, e testes de Lixiviação e Solubilização, indicaram através de laudos analíticos a classificação da escória como resíduo classe I – Perigoso. Enquanto o estudo desenvolvido por De Andrade Lima e Bernardez (2010, 2013 e 2017), utilizando método analítico da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA (1986 e 1990), caracteriza a escória como resíduo não perigoso.

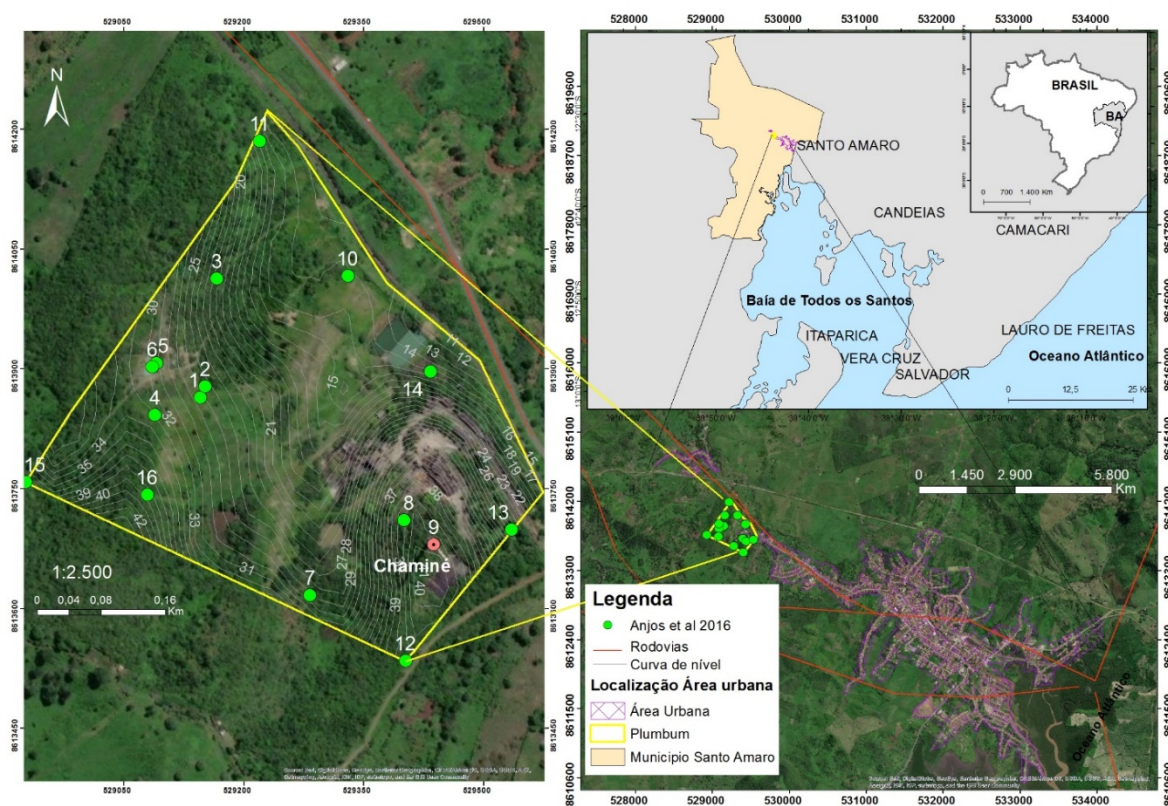
Quanto aos aspectos pedológicos, os solos da metalurgia e entorno são representados majoritariamente por Vertissolos (Bahia 1996; Anjos 1998 e 2003; Machado et al., 2003a; Rabelo 2010; Souza, 2014) e os Argissolos e Neossolos (Asevedo, 2012; Souza, 2014). Os Vertissolos são solos que se caracterizam 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. (2003a), Rabelo (2010) e Lima (2014), a sua constituição mineralógica desses solos influenciam em várias 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 (Figura 01), Recôncavo Baiano, e dista 81,4 quilômetros da capital de Salvador.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os protocolos de investigação para solos contaminados, desenvolvidos nos 17 (dezesete) estudos realizados dentro e fora das instalações da Plumbum Mineração e Metalúrgica LTDA, durante os 60 (sessenta) anos de contaminação ambiental.

Figura 1: Área específica da pesquisa, situada na poligonal de cor amarela e delimitada pelas coordenadas 529227mE, 529572mE, 529401mE, 528926mE e 8614223mN, 8613747mN 8613534mN, 8613757mN, 8591500N (SIRGAS 2000) envolvendo a parte noroeste da área urbana do município de Santo Amaro, e localização dos pontos das

amostras de solo de Anjos et al. (2016). (Fonte: Imagem GoogleEarth, 2020, adaptada; Mapa de autoria propria).



METODOLOGIA

A metodologia científica utilizada para o desenvolvimento desse estudo consiste na Pesquisa Bibliográfica, que tem como finalidade conhecer as diferentes formas de contribuição científica realizadas sobre o assunto em questão. Em seguida, buscou-se delimitar o tema por meio do Estudo de Caso da contaminação por metais tóxicos proveniente da metalurgia de chumbo, instalada em Santo Amaro, Bahia.

Para análise das pesquisas iniciadas em 1961 ate 2016 avaliou-se 17 (desessete) protocolos, em especial amostragens e análises químicas do solo, publicados a partir de 1990. E para melhor delimitação desta pesquisa foi possível definir 02 (duas) premissas básicas para estabelecer fases distintas dos protocolos: i) estudos agrupados com base nos anos das publicações; e ii) caracterizar fato de relevância que marcasse a pesquisa naquele momento.

A partir destas premissas foram delimitadas 03 (três) fases para avaliação dos protocolos, contemplando: a) primeira fase corresponde ao período de 1990 a 2001, tendo como fato marcante o desenvolvimento dos estudos somente com os elementos Pb e Cd, realizados por Tavares (1990); Anjos (1998) e Costa (2001); b) segunda fase corresponde ao período 2002 a 2008, tendo como fato marcante a abrangência de outros elementos tóxicos associados a contaminação tais como As, Pb, Cd, Cu, Hg, Ni, Zn e Sb e o aprimoramento dos protocolos analíticos, por meio dos estudos realizados por Anjos (2003), BRASIL (2003) e Machado et al. (2004); e c) terceira etapa corresponde ao período de 2009 a 2016, tendo como fato marcante a promulgação da Resolução Conama 420/2009 e os estudos posteriores a esta resolução, como Rabelo (2010), Asevedo (2012),

Santos, (2012), Romão (2014), Kede (2014), Souza (2014), Santos et al. (2014), Costa et al. (2015), CPRM (2015), Andrade Lima et al. (2015), e Anjos et al. (2016).

A partir dos valores de concentração dos elementos Pb, Cd, Zn e Cu das 16 (dezesseis) amostras, Figura 01, contidas na pesquisa desenvolvida por Anjos et al. (2016), aplicou-se o método geoestatístico descritivo, por intermédio da krigagem ordinária. Esse estudo geoestatístico fara parte de um programa de monitoramento ambiental dentro da área da metalurgia, com amostragens em pontos pré estabelecidos e análises químicas quantitativa, previstas a cada 05 (cinco) anos, com o intuito de avaliar a Atenuação Natural Monitorada (ANM) da área.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeira fase

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

Neste sentido, a pesquisa de Tavares (1990) avaliou a correlação entre as concentração dos metais (Pb e Cd) no solo peredomiciliar da Av. Rui Barbosa com os valores desses elementos encontrados no sangue das crianças. Assim como a contribuição de Anjos (1998), pioneiro no desenvolvimento do diagnóstico no meio físico no site da metalurgia, 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 de Maateria orgânica) e suas concentrações nas vias de contaminação: as águas superficiais e subterrâneas.

Entretanto, a pesquisa realizada por Costa (2001) avaliou a concentração de Pb e Cd nos solos equidistantes a metalurgia, além de avaliar 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) tem como principal referência o período no qual a metalurgia encontrava-se em funcionamento, enquanto os estudos desenvolvidos por Anjos (1998) e Costa (2001) ocorreram, imediatamente, após o abandono da metalurgia.

Conforme Tabela 1 verifica-se que todas as pesquisas denominaram a terminologia “Metais Pesados” o Pb e o Cd, utilizaram o mesmo método analítico Digestão com HNO₃ concentrado - AAS com chama, além de serem fruto de monografias desenvolvidas na Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Tabela 1: Pesquisas que fazem parte da primeira fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores no período de de 1990 a 2001, agrupadas por analisarem apenas Chumbo e Cádmiu como elementos tóxicos a 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 chumbo (Pb) na cidade de Santo Amaro da Purificação na Bahia; verificar a possível correlação de exposição/absorção de chumbo e cádmio (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), água superficial e subterrânea e escória	Amostra de solo (superficial e perfil), sangue (criança 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 cidade de Santo Amaro/Pontos com distâncias de 900 e 5000m	Dentro da metalurgia/Pontos com distâncias de 200 e 400m	Externo a 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/100g MO: 10% Textura: argiloso a muito argiloso	Não informa.

Fonte: Adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010)

Segunda fase

Esta etapa caracteriza-se pelo desenvolvimento de pesquisas específicas para cada componente do meio físico, em especial, solo, sedimento, água superficial e subterrâneas, que foram realizadas nas instalações da antiga Plumbum (Anjos, 2003 e Brasil, 2003) e no perímetro urbano do município de Santo Amaro (Brasil, 2003 e Machado, 2004), no período compreendido entre 2002 a 2008 (Tabela 2).

O propósito comum entre esses estudos concentra-se no fato 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, incluindo outros elementos além do Chumbo e Cádmiu. O Projeto Purifica, iniciado em 2000, deu continuidade a Anjos (1998), e propôs um diagnóstico da contaminação em toda zona urbana de Santo Amaro

da Purificação e uma ampliação das pesquisas nas instalações da Plumbum, resultando nas publicações de Anjos (2003) e Machado et al. (2004).

Neste sentido, Anjos (2003) quantifica além de Pb e Cd, as concentrações de Zn, As, Cu, Al, Mg e Ca, em solo, 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, e assim avaliando o potencial de disponibilidade desses metais para o meio, além de propor o primeiro protocolo com técnicas de remediação para a área contaminada (Tabela 02).

Tabela 2: Pesquisas que fazem parte da segunda fase de evolução dos estudos que foram realizados nos solos da Plumbum e arredores no período de de 2002 a 2008, agrupadas por analisarem a presença de outros elementos potencialmente tóxicos a 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, através da participação de uma equipe constituída por engenheiros e especialistas em engenharia ambiental e da participação de especialistas de áreas afins.
Material estudado	Solo, escória e sedimentos da zona alagadiça	Solos, água 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 400m	Dentro e externo da metalurgia; Cidade de Santo Amaro;	Externo a metalurgia e Cidade de Santo Amaro/ Sem coordenadas dos locais amostrados
Metodologia Analítica	Extração sequencial, NH ₂ OH.HCl e AAS com chama	Digestão por meio ácido sob aquecimento 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/100g MO: 10% Textura: argiloso a muito argiloso	pH: 8,0; CTC: 47,1 meq/100g MO: 10% Textura: argiloso a muito argiloso	pH: 5,0

Fonte: Adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010)

Enquanto Machado et al. (2004) realizou investigações geofísicas, geoquímicas e geotécnicas diretas e indiretas desenvolvidas no entorno da antiga Plumbum e na área urbana de Santo Amaro, e que contribuíram de forma efetiva para conhecer as características geomecânica do solo e no diagnóstico da contaminação em amostras de águas subterrâneas, solo superficial e em perfil. Além disso, o autor avaliou também a possibilidade do reprocessamento da escória visando a retirada de seus metais tóxicos e reuso.

Enquanto a pesquisa realizada por Brasil (2003) avaliou os riscos dos elementos Pb, Cd, Cu, Zn, As, Ni e Hg (Tabela 2) 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 e estabeleceu como foco principal da contaminação ambiental as instalações da Plumbum e como foco secundário a bacia e estuário do Rio Subaé. Além dos compartimentos ambientais, Brasil (2003) avaliou também alimentos, vegetais comestíveis e a biota aquática, utilizando técnicas multi-elementares para quantificar e qualificar os elementos de interesse presentes nos solos. Ao comparar os valores obtidos desses metais com o permitido pela legislação vigente para uma área industrial, o autor conclui que o Pb, Cd, Zn e Cu estão acima dos limites permitidos pela legislação, o alto risco a saúde humana e classificou a área da antiga Plumbum como perigo urgente para a saúde pública.

Terceira fase

Esta etapa é a mais extensa e caracteriza-se por uma série de pesquisas que avaliaram os solos da região de Santo Amaro, mais precisamente em áreas próximas ao sítio metalúrgico da Plumbum, no período compreendido entre 2009 até 2016, totalizando 11 (onze) publicações (Tabelas 03, 04 e 05). Dentre essas publicações, uma foi em forma de livro e tese de doutorado, cinco dissertações de mestrado, e quatro artigos que foram publicados após a promulgação do CONAMA (2009) (BRASIL, 2009).

É importante ressaltar que, em relação a terminologia adotada pelos autores, somente Kede (2014) (Tabela 04) e Anjos et al. (2016) (Tabela 05) consideram a nomenclatura "metal tóxico", enquanto os outros mantiveram o termo consagrado "metais pesados" em seus textos, com exceção de De Andrade Lima et al. (2015) (Tabela 05), que indicou o termo "elementos potencialmente tóxicos".

Com relação aos objetivos, as pesquisas trataram majoritariamente sobre os aspectos relacionados a remediação da área contaminada, por meio de Santos et al. (2014); Romão (2014) (Tabela 04); Kede (2014); e De Andrade Lima et al. (2015). Outros estudos avaliaram: as questões atmosféricas antigas (Rabelo, 2010) (Tabela 03), enquanto Asevedo (2012) (Tabela 03), Souza (2014) (Tabela 04) e Costa et al. (2015) (Tabela 05) avaliam características dos solos da região e os efeitos da contaminação por metais. Entretanto, Anjos et al. (2016) avalia as concentrações dos metais dentro da metalurgia, de acordo com o CONAMA 420, com o intuito de propor monitoramento ambiental para 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, provenientes tanto da utilização da escória como pavimentação da área urbana de Santo Amaro, além da deposição no solo de antigas emissões atmosféricas da chaminé, quando em atividade.

A contribuição de Asevedo (2012) permitiu relacionar as formações rochosas (os folhelhos dos grupos Santo Amaro e Ilhas), as classes de solo (vertissolos, argissolos) e a

geoquímica do solo (rico em Ca e de Mg) e sugere a realização de estudos detalhados para distinguir as duas fontes de enriquecimento desses metais no solo.

Tabela 3: 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 de número 420/2009 do CONAMA.

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-BA
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 a Metalúrgica/812m	Externo a Metalúrgica/280m	Dentro da Metalúrgica/280m
Metodologia Analítica	Digestão parcial por Espectrometria de absorção Atômica - EAA	USEPA 3050;ICP- OES	USEPA, 3050b; Mehlich 1,
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 6,6 MUNOZ (2010)	pH: 4,9 - 5,5	pH: 7,6

Fonte: Adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010)

Já as pesquisas realizadas por Santos (2012), Romão (2014), Santos et al. (2014), Kede (2014) (Tabela 03), 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 500m 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.

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

Tabela 4: 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 de número 420/2009 do CONAMA.

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, BA. E, Estudar o efeito de dois tipos de ácidos húmicos e um material de carvão vegetal 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 pesado	Avaliar a viabilidade da remediação de solo contaminado por chumbo e cádmio, em área do município de Santo Amaro (BA), 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
Amostragem (cm)	0-20	perfil	0 - 20	0-20
Local da amostragem/Distância da chaminé	Externo a metalurgia/ 277m	Dentro da metalurgia/ 380m	Dentro da metalurgia/ 430m	Dentro da metalurgia/ 100m
Metodologia Analítica	USEPA 3050B (USEPA, 1996)	USEPA 3050;	Solução de Mehlich 1 por EAA	USEPA 3051a; extração sequencial BCR TCLP
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 7,6; CTC: 11,8 cmolc dm ⁻³ ; CO: 15,7	pH: 4,9 - 8,4; CTC: MO: Textura: Argiloso-muito argiloso	pH: 7,6 - 8,9	pH: 8,0

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 de número 420/2009 do CONAMA.

Referência	Costa et al. (2015)	De Andrade de Lima et al. (2015)	CPRM 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 a Metalurgia	Município de Santo Amaro	Dentro da metalúrgica
Metodologia Analítica	USEPA 3050B por Espectrofotômetro de Absorção Atômica - EAA	(ICP-MS) Para Pb; (FUS-MS) Para Cd	Espectrometria de Emissão Atômica – ICP-AES e – ICP-MS,	HNO ₃ , e HCl por Espectrometria de Emissão Atômica
Parâmetros físico-químicos analisados	pH: 4,9-8,9	não informado	não informado	pH: 5,9

Fonte: Adaptado de Anjos (1998) e Rabelo (2010)

Tabela 6: Evolução dos valores das concentrações máximas de Pb, Cd, Zn e Cu, encontrados nas 16 publicações que ocorreram no período de 1980 até 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	
1º Etapa	Tavares (1990)	107.268 (1980); 83.532 (1990)	335 (1980) 157 (1990)	Não analisado	Não analisado	5000	0,5	—	—	Forstner (1980)
	Anjos ³ (1998)	8.200	117	Não analisado	Não analisado	72 - 18.500	0,6 - 160	—	—	Kabata & Pendias (1984) apud CETESB (1997)
	Costa (2001)	2.081	27,6	Não analisado	Não analisado	17	0,4	—	—	Chumbo: Pitrowsky & Coleman (1980); e Cádmiu: Hutzinger (1980)
2º Etapa	Anjos (2003)	11.084	117	8.995	742	2.000	60	720	190	CETESB (1999 - 2001) - Industrial
	Brasil (2003)	5.890	30,2	7.800	102					
	Machado et al. (2004)	13.000	200	6.500	Não analisado					
3º Etapa	Rabelo (2010)	2.420	9,1	Não analisado	Não analisado	300	8	1000	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)	11707	50	2155	227,7	900	20	2000	—	CONAMA 420/2009 - V.I - Industrial
	Santos et al. (2014)	11.707	Não analisado	Não analisado	Não analisado					
	Souza (2014)	4.499	21	Não analisado	Não analisado					
	Romão (2014)	482	212	501	Não analisado					
	Kede (2014)	3.196	33	Não analisado	Não analisado	300	8	1000	—	CONAMA 420/2009 - V.I - Residencial e Industrial
	Costa et al. (2015)	23.713,4	51,3	1.858,9	Não analisado					
De Andrade de Lima et al. (2015)	8.400	49.7	650	200	900					

³ Anjos (1998) realizou um quadro comparativo com os valores de Pb e Cd utilizados em diversos países para indicar contaminação dos solos superficiais em uma área industrial, conforme citado em Kabata & Pendias (1984). O autor comparou os valores de Pb e Cd encontrado na Plumbum com os da Grécia (18.500 ppm) e EUA (160 ppm) respectivamente, concluindo que os valores desses metais encontrados nos solos da metalurgia estavam altos, se comparados aos países citados por Kabata & Pendias (1984).

Referência	Valor máximo encontrado (mg.Kg-1)				Valor de Referência Utilizado (mg.Kg-1)				Orgão
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	
CPRM 2015; Anjos et al 2016	> 12.500	229,54	2.399	716	72	1,3	300	60	CONAMA 420/2009 - V.P

Método Geoestatístico Descritivo

A aplicação do método geoestatístico descritivo por intermédio de krigagem ordinária, em 16 (dezesesseis) amostras de solo da pesquisa desenvolvida por ANJOS et al. (2016), a partir dos valores de concentração dos elementos Pb, Cd, Zn e Cu (Tabela 07), foi estabelecido como procedimento para avaliar a Atenuação Natural Monitorada (ANM) da área contaminada dentro da metalurgia, tendo em vista proposta de monitoramento ambiental da UFBA/IGEO, a ser desenvolvido a cada 05 (cinco) anos seguintes.

Os dados foram compilados em uma tabela do excel (tabela 7), importados para o software IoGas 7.3 e e processados para obter os dados dos parâmetros estatísticos (máximo, mínimo, média, mediana, desvio padrão, variância, quartil 25% e 75%, assimetria e curtose) (tabela 8) para cada elemento em questão.

Tabela 7: Pontos amostrados por Anjos et al. 2016 com as concentrações dos metais tóxicos de interesse, coordenadas geográficas e distância da chaminé. Destacam-se, em amarelo, 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 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	5700,1	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	1092,3	11,74	237	65,4	168,3
8	529400	8613710	4737,3	116,12	647	77,9	42,4
9	529437	8613680	5952,6	31,48	968	171,2	6,3
10	529330	8614016	2740,9	22,31	252	80,3	346,3
11	529219	8614185	2428,2	12,97	205	58,8	543,7
12	529402	8613534	1426	15,19	468	65,1	155,5
13	529534	8613698	12500	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	1524,6	11,28	209	52,2	360,4

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 ArcGis 10.3 esses dados foram sobrepostos com a imagem de satélite atualizada, permitindo localizar as áreas com

os valores que estão acima do permitido pela legislação do CONAMA 420/2009 (atual CONAMA 460/2013).

A partir dos valores da tabela 6, todos os elementos analisados apresentaram altas concentrações em locais que distam 6,3m (ponto 9) e 100 m (ponto 13) da chaminé, concordando com os estudos realizado por Rabelo (2010) onde afirma que o enriquecimento desses elementos teve como contribuição as deposições atmosféricas durante o período de alta produção da metalurgia, apenas o Cobre apresentou uma baixa concentração na distância de 100m.

Todavia, os pontos 3 e 13 chamam bastante a atenção, em especial para os elementos Pb e Cd. Em ambos os pontos, as concentração são relativamente altas, principalmente para o ponto 3 que dista 400m da chaminé. A posição topográfica do ponto 3 e 13 estão em áreas de meia encosta, com variação altimétrica de 23 e 27m respectivamente, descartando a possibilidade de enriquecimento oriunda das deposições atmosféricas antigas e sugerindo a influência da posição topográfica, a presença de estruturas, tais como fendas, gilgai do tipo de solo em questão como fator de maior relevância para tais concentrações. As isolinhas sobre uma imagem de satélite no site da Plumbum facilitam a observação dessas concentrações em locais não amostrados.

A estatística descritiva permitiu extrair os valores médios, mediana, máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) (Tabela 8). Os valores do desvio padrão de todos os elementos analisados está muito superior ao valor da média das amostras, sugerindo que os dados foram coletados de forma aleatória, não existindo um padrão de distribuição representativo para as amostras dentro do site da Plumbum.

Tabela 8: Geoestatística descritiva aplicada aos dados da tabela 7. Observar os valores de CV em todos os elementos analisados.

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	1259.00	13.00	207.00	65.50
Quartil 75%	32.400.000	392.500	5.000.000	785.000
Máximo	12500.00	230.00	2399.00	716.00
Média Aritmética	2611.38	43.88	440.00	115.56
Variância	1,06E+07	4083.32	330891.47	27870.13
Desvio Padrão	3252.63	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

Conforme Deutsch & Rossi (2013), o coeficiente de variação (CV), quando elevado (acima de 0,7), indica a necessidade de coletar mais amostras para que sejam representativas em um espaço amostral. Ao analisar os CV's dos elementos (tabela 8), percebe-se que, para aumentar a confiabilidade dos dados, seriam necessárias um volume muito maior de amostras e um maior espaçamento entre elas.

Outra função do coeficiente de variação (CV) é determinar se os dados são melhor descritos através de uma distribuição normal ou lognormal. Baseado em Sinclair

&Blackwell (2004), um CV inferior a 0,5 indica melhor distribuição dos dados normal, ao passo que CV superior a 0,5 indica melhor distribuição lognormal. Baseado nessa lógica, o caso de Anjos et al. (2016) a melhor distribuição a ser utilizada é lognormal, pois valores de CV estão superiores a 0,5.

Após observar os gráficos do tipo Box Plots (figura 2) e os histogramas (figuras 3 e 4 inferior direito) é possível visualizar a distribuição das amostras analisadas por Anjos et al. (2016) na área da Plumbum. Todos os valores dos elementos analisados no site da Plumbum estão acima do permitido para um sítio industrial, se comparados com os valores estabelecidos pela resolução de número 420 de 2009.

Figura 2: Gráfico do tipo Box Plots para os elementos de Pb, Cd, Zn e Cu do site da Plumbum.

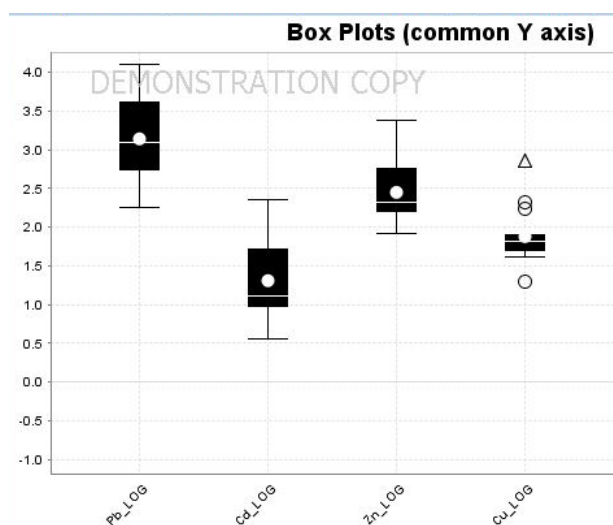


Figura 3: Mapa com as isolinhas de concentração indicando as maiores e menores concentrações de Pb e Cd no sítio da Plumbum, tendo como referência o valor máximo permitido para uma área industrial com base no CONAMA 420/2009.

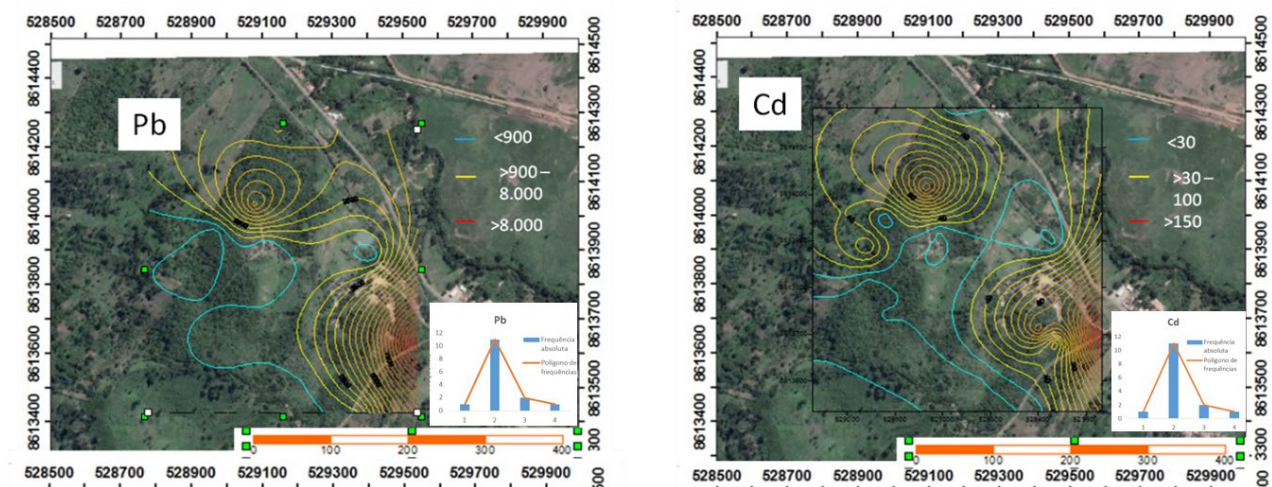
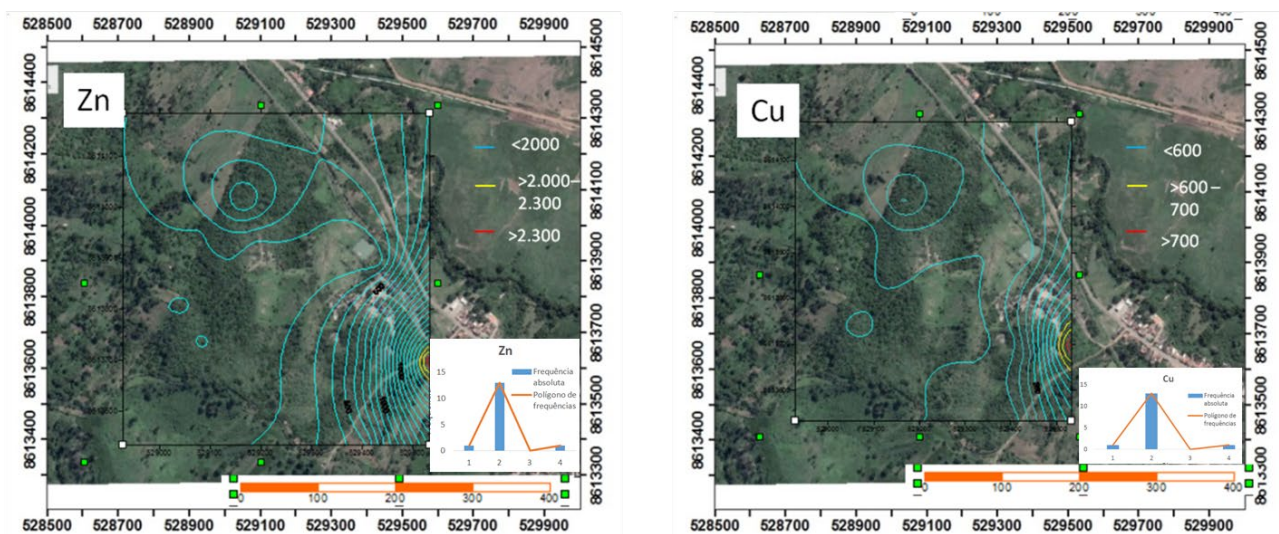


Figura 4: Mapa com as isolinhas de concentração indicando as maiores e menores concentrações de Zn e Cu no sítio da Plumbum, tendo como referência o valor máximo permitido para uma área industrial com base no CONAMA 420/2009.



CONCLUSÃO

A contaminação do solo de Santo Amaro por metais tóxicos, mesmo após 28 anos de encerramento das atividades da Plumbum, continua sendo um grave problema ambiental presente na vida de muitos que residem, principalmente em áreas próximas a metalúrgica. Assim, a avaliação da evolução das pesquisas sobre as concentrações de metais no solo realizadas na primeira, segunda e terceira fase desse estudo permitiram indicar que as informações coletadas a respeito da avaliação dos solos contaminados tiveram diferentes objetivos, metodologias, e valores de referências o que não possibilitou a comparação desses dados para uma avaliação atemporal de 1990 até 2016.

A aplicação do método geoestatístico descritivo aos valores analíticos amostrados no site da Plumbum por Anjos et al. (2016) permitiram indicar as áreas de influência da contaminação, mesmo em locais não amostrados. Os valores do desvio padrão e coeficiente de variação estão elevados, o que significa que os dados foram coletados de forma aleatórias, não existindo um padrão de distribuição representativo, o que impossibilita uma interpretação mais precisa sobre a situação atual da contaminação no site da Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA. No entanto, sugere-se que seja realizada uma complementação a esses dados iniciais de Anjos et al. (2016), utilizando uma malha amostral que abranja toda a área de estudo, para confirmar a possibilidade da redução dessa contaminação por atenuação natural monitorada em todo sítio da Plumbum.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES - Código de financiamento 001. Os autores agradecem ao Programa de Pós Graduação de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB, pela bolsa de estudo para a realização da pesquisa e ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM-RJ.

REFERÊNCIAS

- Andrade, M. G. de; Melo, V. de F.; Gabardo, J.; Souza, L. C. de 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*, vol.33.
- Andrade, L. C. de, & Tiecher, T. (2016). A terminologia dos elementos: pesados, traços ou tóxicos? *Boletim Informativo do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)*, n10, p. 1-5.
- Anjos, J. A. S. A. dos (1998). *Estratégias para remediação de um sítio contaminado por metais pesados – estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, p.145.
- Anjos, J. A. S. A. dos (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 em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2003, p 227.
- 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. In: *I Workshop sobre áreas contaminadas*. São Paulo,. Resumo Expandido, p. 39 – 42.
- Anjos, J. A. S. A.; Sánchez, L. E. (2000). Remediation of a lead and cádmium contaminated site through a wetland. In: *Seventh International FZK-TNO Conference. Leipzig, Thomas Telford, v. 1, p. 658 – 661*.
- Anjos, J. A. S. A.; Cunha, F.; Vigilio, E. (2016). Caracterização do solo contaminado por metais tóxicos dentro da área industrial da Plumbum Mineração e Metalurgia LTDA, Santo Amaro/Ba-Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 48, 2016*, Porto Alegre - RS. Anais...São Paulo - SP: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016. Disponível em: <<http://cbg2017anais.siteoficial.ws/anais48cbgcompleto.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2018.
- Araújo-Moura, A.A.C.; Caffaro Filho, R.A. (2015). Panorama do gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil após a resolução CONAMA 420/09. *Águas Subterrâneas* 29, 202-212.
- Asevedo, L. P. (2012). *Mapeamento Geoquímico De Solos Contaminados Por Metais (Pb, Zn, As E Cu) Santo Amaro Da Purificação, Bahia*. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.
- BAHIA. Plano diretor de recursos hídricos (1996). 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 (2009). - Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009.

BRASIL (2013). - Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução N° 460, de 30 de dezembro de 2013.

CETESB (2001) Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo.. São Paulo, 101 p + anexos.

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 em Química Analítica), Universidade Federal da Bahia.

Costa, O. D. A. V.; Souza, J. P. de; Santos, J. A. G.; Souza, L. da S.; Almeida, M. da C. de; Bomfim, M. R., (2015). Classificação de solos contaminados por metais pesados em Santo Amaro-Ba. *Congresso Brasileiro de ciência do solo*.

Da Cunha, F. G.; Viglio, E. P. (2015) - Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Subaé - Estado Da Bahia. Serviço Geológico do Brasil - RJ.

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 *book: Lead Zinc 1 ed. John Wiley & Sons and The Metals & Materials Society (TMS)*, pp.917-927.

De Andrade Lima, L. R. P.; Bernardez, L. A. (2011). Characterization of the lead smelter slag in Santo Amaro, Bahia, Brazil. *Journal of hazardous materials*.

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. *Journal of hazardous materials*.

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 Poços de Caldas-MG*.

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. *Journal of hazardous materials*.

Deutsch, C., & Rossi, M. (2013). Mineral Resource Estimation. [Online] New York: Springer. Available from: www.springer.com. [Acesso em: 22/07/2020].

Duffus, J. H. (2002). "HEAVY METALS"—A MEANINGLESS TERM? *Pure and Applied Chemistry* 74 Vol. 74, No. 5, pp. 793–807, 2002.

Hodson, M. E. (2004): Heavy metals—geochemical bogey men? *Environmental Pollution* 129.

Horckmans, L., Swennen, R., Deckers, J., & Maquil, R. (2005). Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in *the Grand Ducky of Luxembourg*. *Catena* v 59, 3, 2005, p 279-304.

Lima, G. K. (2014). *Caracterização de vertissolos do nordeste brasileiro*. Dissertação de mestrado em ciência do solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Lyrio, A.; Garrido, Y. (2019). Chumbo Grosso: especialistas confirmam que escória de chumbo expõe população a riscos. Jornal CORREIO | Notícias e opiniões. 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%20exposi%C3%A7%C3%A3o%20ao%20metal>. Acesso em: 30/11/2019

Kede, M. L. F. M. (2014) *O uso de fosfatos associados a fitorremediação em solos de Santo Amaro (Ba) contaminados por metais tóxico*. Tese de doutoramento em Monitoramento e controle ambiental. Rio de Janeiro.

Machado, S. L.; Sampaio, M. P.; Carvalho, M. DE F. (2003a). Contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação - BA - Modelagem numérica do transporte de poluentes. . *V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO*, Porto Alegre.

Machado, S. L.; Ribeiro, L. D.; Kiperstok, A. Botelho, M. A. B. Carvalho, M. de F., (2004). Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação – BA. Artigo técnico. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9 - n. 2.

Moon, K. Ah e Chae, H. K. (2007): What is the Meaning of Heavy Metals?: A Case Study in Korean Textbooks. *Proceeding of the 2nd NICE Symposium Taipei*, TAIWAN.

Pereira, A. C. C.; Lima, E. S. A.; Santos, A. M. dos; Sobrinho, N. M. B. do A. (2015). Análise e monitoramento de metais pesados no solo. Cap. 4 In book: *Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo*.

Rabelo, T. S. (2010). *Estudo Das Contaminação Remanescentes de Chumbo e Cádmio no Município de Santo Amaro - Ba*. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Reis, F. O.; Martinez, E. A.; Silva-Júnior, F. M. R. da; Lima, A. C. R. de (2017). Análise dos dispositivos legais nos estados brasileiros perante a Resolução 420/2009. *Revista Âmbito Jurídico n° 158*.

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. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

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 n° 055/95 - SFA).

Santos, N. M. (2012). *Ácidos húmicos e carvão vegetal ativado na redução da disponibilidade de metais pesados em solo contaminado*. Dissertação. Universidade Federal Do Recôncavo Da Bahia, Cruz das Almas.

Santos, N. M. dos; Accioly, A. M. de A.; Nascimento, C. W. A. do; 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*.

Sinclair, A., & Blackwell, G. (2004). *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge: Cambridge University Press. Available from: www.cambridge.org. [Accessed: 24/03/2020].

Souza, J. P. de. (2014). *Caracterização de Solos de uma Topossequência, em Área Contaminada por Rejeitos de Mineração de Chumbo*. Dissertação. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

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*, 2014, 3(2): 24-38.

Tavares, T. M. (1990). *Avaliação dos efeitos das emissões de Cádmio e Chumbo em Santo Amaro, Ba* - Tese de doutoramento. Universidade Federal da Bahia.

CAPITULO 3

CONCLUSÕES

O problema dos solos contaminados no Brasil, em especial por metais tóxicos, requer, primeiramente, que haja uma reflexão por parte do poder públicos sobre as funcionalidades desse recurso para que ocorra a sua proteção. Todavia, o levantamento das áreas contaminadas no Brasil, realizado pelo Panorama GAC em 2016 apresenta insuficiência nas informações referente das áreas as quais foram desenvolvidas atividades potencialmente poluidoras, destacando, em primeira instância, as regiões norte e nordeste.

Assim, a contaminação do solo de Santo Amaro por metais tóxicos, mesmo após 28 anos de encerramento das atividades da Plumbum, continua sendo um grave problema ambiental presente na vida de muitos que residem, principalmente em áreas próximas a metalúrgica.

A pesquisa sobre os 17 protocolos realizadas nos solos de Santo Amaro permitiu identificar, inicialmente, que a falta de procedimentos específicos e normalizados para avaliação de áreas contaminadas, principalmente na primeira fase das pesquisas, influenciou diretamente os resultados analíticos obtidos. A contribuição de cada pesquisa teve seu objetivo proposto com a situação vivenciada e pela gravidade da contaminação em cada período da história. Os valores encontrados de chumbo e cádmio foram muito elevados ao longo desses anos, principalmente os encontrados por Tavares (1990). O amadurecimento sobre os critérios de avaliação de solos contaminados começam em 2003, quando os autores analisaram outros metais associados a contaminação de chumbo da região e possíveis técnicas de remediação.

Entretando, a falta de um protocolo amostral, os diversos objetivos e diferentes técnicas analíticas, além dos diversos valores dos parâmetros físico-químicos que foram obtidos proporcionaram a todos os estudos apenas o caráter quantitativo dos metais analisados e a sua toxicidade a população, o que impossibilitou a realização de um programa de monitoramento temporal desses estudos durante esses anos.

A aplicação da geoestatística aos dados do monitoramento ambiental realizado por Anjos et al. (2016) permitiu analisar diversos aspectos, principalmente sobre o espaçamento das amostras e a qualidade dos dados. Os coeficientes de variação dos elementos analisados que deram todos acima de 1,0, o que permite afirmar que o espaçamento das amostras não foram suficiente.

Diante deste cenário, nota-se que a legislação brasileira, responsável pelo direcionamento na análise de solos contaminados por substâncias tóxicas, ainda possui algumas contradições, em relação a definição dos valores de *background* aceitáveis para uma área já contaminada, levando em consideração as características genéticas locais desses solos, que inicialmente não tiveram seus valores naturais definidos.

ANEXO A - REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOLOGIA USP. SÉRIE CIENTÍFICA

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto (no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços); nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo **somente do autor principal** (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e **telefone para contato** - *pode ser o endereço da Universidade*), **e-mail de todos os autores**; **ORCID de todos os autores**; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, **devem ser concisos, com no máximo 270 palavras**. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – **máximo seis**, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. **O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo: texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas.** (Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos).

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

5. TÍTULOS

a) Título do artigo:
Título principal – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Título em inglês – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:
NÍVEL 1 – NEGRITO, CAIXA ALTA.

Nível 2 – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda.

a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. **Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.** As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica.

DOI: inseri-lo em todas as referências que já o tiverem.

A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.

ANEXO B - COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO

Geologia USP, Série Científica | Tarefas 0 | Português (Brasil) | Ver o Site | aldeneidiane

181799 / dos Santos et al. / Evolução da Contaminação do Solo por Metais Tóxico: O Caso da Plumbum Mi | Biblioteca da Submissão

Fluxo de Trabalho | Publicação

Submissão | Avaliação | Edição de Texto | Editoração

Arquivos da Submissão Q Buscar

469258-1	aldeneidiane, 11-02_ALDENEIDIANE FINAL - USP submeter scientifica.docx	fevereiro 11, 2021	Texto do artigo
----------	--	--------------------	-----------------

[Baixar Todos os Arquivos](#)

[GEOUSP] Agradecimento pela submissão Caixa de entrada x



Daniel Machado via Portal de Revistas da USP <portalderevistas@usp.br>
para mim ▾

00:33 (há 0 minuto)



Srta Aldeneidiane:

Obrigado por submeter o manuscrito, "Evolução da Contaminação do Solo por Metais Tóxico: O Caso da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, Santo Amaro, Bahia, Brasil.: Evolução da Contaminação do Solo por metais" ao periódico Geologia USP. Série Científica. Com o sistema de gerenciamento de periódicos on-line que estamos usando, você poderá acompanhar seu progresso através do processo editorial efetuando login no site do periódico:

URL da Submissão: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/authorDashboard/submission/181799>

Usuário: aldeneidiane

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Daniel Machado

[← Responder](#)

[➡ Encaminhar](#)