

Avaliações ecológicas e ecotoxicológicas relacionadas ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA)

Júlia Carina Niemeyer¹

Silvia Egler²

Eduardo Mendes da Silva³

Introdução

Em áreas contaminadas por metais, estudos envolvendo a avaliação e o monitoramento dos ecossistemas envolvidos são necessários para entender e prever a biodisponibilidade, a transferência, a bioacumulação e os efeitos dos poluentes para as comunidades biológicas e para a saúde humana (DOUAY *et al.*, 2009). Estes estudos geralmente envolvem a determinação da concentração de metais nos compartimentos ambientais (solo, água subterrânea, água superficial, sedimentos, poeira) e na biota (DOUAY *et al.*, 2012), visando a proteção da saúde humana e dos ecossistemas, além de envolver a realização de avaliações ecotoxicológicas e da estrutura e funcionamento dos ecossistemas impactados.

Este capítulo tem como objetivo dar uma visão geral dos estudos envolvendo ecologia e ecotoxicologia relacionados à contaminação por metais gerada pela atividade da antiga Plumbum Mineração e Metalurgia em Santo Amaro (BA). Tais estudos foram realizados no solo da região de influência da antiga fábrica, na zona urbana de Santo Amaro, nos sedimentos do rio Subaé e na baía de Todos os Santos, desde a época em que a usina estava em funcionamento até o presente. Estes estudos, embora dispersos, buscaram caracterizar a contaminação e as possíveis rotas de exposição aos metais no solo e sua biota; água, sedimento e biota do rio Subaé; além do risco ecológico envolvendo tanto ecotoxicidade dos metais quanto impacto físico da disposição do resíduo sobre os organismos do solo.

Dentre os fatores que controlam o destino dos contaminantes inorgânicos, como os metais, nos ecossistemas, estão a proximidade em relação à fonte, a persistência no ambiente, os fatores de bioconcentração e bioacumulação, e a biodisponibilidade (WALKER *et al.*, 2006). Os metais não se degradam e podem acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade, sendo os solos e sedimentos seus locais de maior deposição, e a biota associada a estes compartimentos é a de maior preocupação pela possibilidade de causar risco à saúde humana. Além de poder causar toxicidade aos organismos terrestres e aquáticos, pela absorção direta ou biomagnificação, os metais também podem se depositar na superfície das plantas.

¹ Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento. UFBA - Universidade Federal da Bahia.

² Mestrado em Ecologia. UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas.

³ Doutorado em Biogeografia. Universitat des Saarlandes. Alemanha

Através do consumo de água ou da biota contaminada, inalação de poeira ou ingestão acidental de solo pelas crianças, alguns metais podem fazer parte da cadeia alimentar humana e causar intoxicação (JÄRUP, 2003), como já constatado em Santo Amaro (CARVALHO *et al.*, 1996).

O caso de Santo Amaro tem sido alvo de vários estudos sobre a caracterização da contaminação nos compartimentos ambientais, através de análises químicas para a determinação da concentração de metais. Porém, no foco ambiental e envolvendo risco ecológico, poucos trabalhos têm estudado como a contaminação existente afeta ainda hoje a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas atingidos, e conseqüentemente, os serviços oferecidos pelos ecossistemas para a vida humana. Esta abordagem pode incluir tanto levantamentos de campo, como por exemplo, a análise da estrutura e diversidade da comunidade vegetal ou de comunidades aquáticas *in situ*, quanto os ensaios de ecotoxicidade, usando organismos vivos e os expondo ao material coletado nos locais em análise. Em geral, há uma ausência de estudos integrados e de longa duração com estas abordagens.

Avaliações biológicas são especialmente importantes porque o risco ecológico não é previsível a partir de análises químicas. Isto porque a biodisponibilidade dos metais vai depender das características do meio (por exemplo, pH, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica) e pode ser alterada ao longo do tempo por fatores físicos do meio, ou pode ser alterada pela atividade dos organismos (atividade enzimática de microrganismos do solo, pH intestinal de invertebrados de solo, bioturbação de mariscos que vivem no sedimento, dentre outros) (ALLEN, 2002).

Dentre as avaliações biológicas disponíveis, os ensaios de ecotoxicidade têm sido usados em conjunto com as análises químicas para avaliar o risco ecológico de áreas contaminadas por metais, como áreas de mineração e áreas industriais desativadas (ALVARENGA *et al.*, 2008; ANTUNES *et al.* 2008; WEEKS *et al.*, 2004). Os ensaios de ecotoxicidade são usados para expor organismos-teste a um meio (água, sedimento ou solo) contaminado, com o objetivo de avaliar se a contaminação é alta o suficiente para causar algum efeito adverso sobre a sobrevivência, crescimento, reprodução ou outros atributos destes organismos (USEPA, 1994). Dentre as vantagens dos ensaios de ecotoxicidade estão o fato de que eles revelam o efeito combinado da mistura de contaminantes presentes, incluindo contaminantes não analisados ou para os quais não existem limites máximos estabelecidos (FERNANDEZ *et al.* 2005; JENSEN; MESMAN, 2006; WEEKS *et al.* 2004). Alguns ensaios são especialmente úteis em estudos de “varredura”, usados para identificar os locais onde há maior toxicidade e conseqüentemente maior risco ecológico, como os ensaios de comportamento de fuga, enquanto que outros ensaios revelam os efeitos crônicos sobre a biota em uma exposição prolongada (JENSEN; MESMAN, 2006).

A bacia do rio Subaé

A bacia hidrográfica do rio Subaé encontra-se localizada no Recôncavo Norte, abrangendo parte de sete municípios: Feira de Santana, São Gonçalo dos Campos, Santo Amaro, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passé, Amélia Rodrigues e Conceição do Jacuípe, numa área de 655 km². Está localizada entre as coordenadas geográficas de 12° 15' e 12° 40' latitude sul e 38°37' e 39°00' longitude oeste. O principal curso d'água é o rio Subaé, o qual tem sua nascente na chamada Lagoa do Subaé (bairro Subaé e Loteamento Parque do Subaé) no perímetro urbano de Feira de Santana, servindo como corpo receptor de efluentes industriais do Centro Industrial do Subaé e esgotos domésticos provenientes de vários bairros adjacentes. Este aporte provoca diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na estação seca e pH do sedimento de neutro a básico (HATJE *et al.*, 2006; 2010). Seus principais afluentes são: a) margem direita: rio Sergi (principal afluente), rio Pirauna, rio da Serra e rio Serji-Mirim e b) margem esquerda: rio Traripe (principal afluente) e rio do Macaco. Sua foz está localizada no município de São Francisco do Conde na baía de Todos os Santos, em frente à ilha de Cajaíba. O rio Subaé é considerado como a principal fonte de material em suspensão para a baía de Todos os Santos (HATJE *et al.*, 2006), transportando e distribuindo partículas contaminadas para as águas e sedimentos da baía.

De um modo geral a área da bacia hidrográfica é recoberta com espécies que comumente constituem a Floresta Perenifólia (vegetação secundária) e manguezais que recobrem as margens desde a foz do rio Subaé até as proximidades da cidade de Santo Amaro. A vegetação típica de Mata Atlântica vem sendo degradada devido à ação antrópica, inicialmente pelo extrativismo e posteriormente por culturas diversas e pastagens. Atualmente, restam cerca de 5% da sua cobertura original.

Primeiros indícios de contaminação e de ecotoxicidade relacionados à Plumbum

Uma completa revisão sobre o histórico de contaminação em Santo Amaro pode ser vista na tese de Anjos (2003). É lá que encontramos o relato de que, em 16 de dezembro de 1961, o jornal de maior circulação no município, "O Archote", trazia como manchete principal "COBRAC: fábrica de chumbo e de morte". A reportagem referia-se a um estudo desenvolvido pelo engenheiro químico Dr. Hans Dittmar, contratado por pecuaristas da região, alarmados com a grande mortalidade de gado e suínos. Após um estudo minucioso, o Dr. Dittmar atribuiu às atividades da fábrica a morte de cerca de 250 burros, 200 bovinos, além de outros animais, relacionando-as às emissões atmosféricas tóxicas, e alegou que os processos usados pela fábrica para o processamento do chumbo eram dos mais primitivos. A polêmica levou a fábrica a tomar algumas medidas de controle da contaminação atmosférica, além da aquisição de terras no seu entorno, buscando continuar sua produção (ANJOS, 2003).

Em 1975, o prof. José Oscar N. Reis realizou estudos sobre a qualidade das águas do rio Subaé. Os valores encontrados para Cd variaram entre 0,0042 mg/L e 0,0813 mg/L e para Pb entre 0,04 mg/L e 6,18 mg/L, superando os limites máximos para esses elementos na água estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde – O.M.S. (REIS, 1975 *Apud* SANTOS, 2011). Como resultado, a Secretaria do Meio Ambiente do Governo Federal firmou convênio com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), na época responsável pela execução da política ambiental no estado, e a equipe da UFBA do Projeto de Estudos Ecológicos do Recôncavo, para estudos dos níveis de contaminação por metais nas águas, nos sedimentos e na fauna na área da baía de Todos os Santos (OLIVEIRA, 1977). Estes levantamentos mostraram a região do estuário do rio Subaé como sendo a mais crítica de contaminação de Pb e Cd. Nos moluscos, as concentrações de metais foram em média superiores aos limites para consumo humano estabelecidos pela FAO/WHO para Pb, 2 ppm (matéria úmida) e 10 ppm (matéria seca) e para Cd 500 µg (valor máximo semanal) (OLIVEIRA, 1977).

Em um estudo preliminar dos poluentes metálicos da baía de Todos os Santos, Donnier *et al.* (1977, *apud* CARVALHO *et al.*, 1982) encontraram em sedimentos do rio Subaé, concentração média de 23,7 ppm de Cd, com intervalo entre 0,5 – 120 ppm. Estes autores reportaram teores de cádmio (em peso seco) variando de 80 a 135 µg/g em amostras de ostra, de 13 a 40 µg/g em amostras de siri e de 40 a 60 µg/g em amostras de sururu, na época em que a usina estava em funcionamento, segundo dados relatados na dissertação de Santos (2011). A zona mais crítica de contaminação dos sedimentos e biota compreendia o estuário do rio Subaé. As altas concentrações de Pb e Cd encontradas nos mariscos levaram à realização de estudos voltados para as populações consumidoras.

Entre o período de 1975 e 1980, a equipe do Projeto Estudos Ecológicos do Recôncavo (PEER) da UFBA e do CEPED realizaram vários estudos sobre a contaminação por Pb e Cd em diferentes compartimentos ambientais. Costa (2001, Tabela 7, p. 44) apresenta os resultados das concentrações obtidas para estes metais:

1. Rio Subaé: a) águas: Pb média = 1,6 mg/L; próximo à PLUMBUM: Pb máximo = 6,0 mg/L). Valores de referência para água: Cd = 0,003 mg/L e Pb = 0,01 mg/L (W.H.O., 2011).
2. Alimentos: a) ostras: Cd média = 4 µg/g; b) frutas e verduras: Cd mínima = 0,004 µg/g, Pb em banana e laranja mínima = 0,010 µg/g, e vegetais folhosos: Cd máxima = 11,8 µg/g e Pb máxima = 215 µg/g. Valores de referência para alimento Cd = < 10 µg/g (W.H.O., 2004).

Em 1996, os resultados dos estudos da Universidade Federal da Bahia, através do Programa de Monitoramento dos Ecossistemas ao Norte da Baía de Todos os Santos (UFBA, 1996 *Apud* FUNASA, 2003), mostraram que as concentrações médias de metais nas amostras de sururu coletadas em São Brás (Pb = 1,36 µg/g e Cd = 0,86 µg/g) e São Francisco do Conde (Pb = 33,7 µg/g e Cd = 0,25 µg/g) representavam um importante indicativo sobre a possível exposição humana a alimentos contaminados.

Em 2001, Cunha e Araújo (2001, apud FUNASA, 2003) realizaram um estudo pericial onde, em amostras de águas superficiais na área da Plumbum, as concentrações máximas para Pb foram de 37,2 mg/L e para Cd de 0,46 mg/L. O estudo também incluiu amostras de frutas (sete amostras), com concentrações de Pb = $12,35 \pm 0,30$ µg/g e de Cd = $1,88 \pm 0,03$ µg/g, tubérculos (quatro amostras) com concentrações de Pb = $14,1 \pm 1,55$ µg/g e de Cd = $2,32 \pm 0,54$ µg/g e gramíneas, concentrações de Pb = 85,0 µg/g e de Cd = 41,3 µg/g. Outro estudo foi realizado com amostras de gramíneas no mesmo ano, 2001, coletadas a 300 m da Plumbum e a 1, 6, 10 e 14 km de Santo Amaro por Costa (2001). As concentrações (em peso seco) encontradas em gramíneas a 300 m da Plumbum foram Pb = $30,2 \pm 2,7$ µg/g e Cd = $1,23 \pm 0,05$ µg/g; e a 14 km, Pb = $0,897 \pm 0,386$ µg/g e Cd = $0,302 \pm 0,036$ µg/g. Correlações positivas foram encontradas entre as concentrações de Pb nas plantas e no solo. Para comparação com concentrações de Pb e Cd de áreas não contaminadas, a autora considerou como valores de referência 1 µg/g para Pb, e 0,3 µg/g para Cd.

Em um estudo mais recente, realizado pela Funasa (2003), coletas de sedimento foram realizadas a 500 m à montante da Plumbum, da Plumbum até o início do mangue em Santo Amaro, e do mangue de Santo Amaro até São Brás. Os metais determinados nos sedimentos foram: As, Cu, Hg, Pb, Ni e Zn. Os resultados obtidos foram divididos em duas faixas, T = 0-5 cm e F = 5-10 cm, onde as concentrações de metais determinadas foram: Pb na faixa T = $24,39 \pm 10,64$ ppm (n = 17) e F = $32,25 \pm 31,15$ ppm (n = 17); As na faixa T = $0,94 \pm 0,31$ ppm (n = 5) e F = $0,63 \pm 0,08$ ppm (n = 4); Cd na faixa T = $0,54 \pm 0,08$ ppm (n = 4) e F = $0,73 \pm 0,33$ ppm (n = 4). Também foram coletadas nove amostras de moluscos (sururu) no mangue entre Santo Amaro e São Brás, onde em um ponto a concentração máxima de Pb foi de 5,73 ppm.

O estudo realizado pela Funasa (2003) relata que, na colônia de pesca de Caieira, onde os pescadores e suas famílias vivem à beira do rio Subaé, quando questionados sobre a qualidade do pescado e da água do rio, os pescadores informaram que entre 1994 e 1995 o “*mangue morreu*”, e que “*hoje é necessário andar mais, para se encontrar mariscos*”. Relatam ainda que a quantidade e a qualidade das espécies foram reduzidas (FUNASA, 2003). Estes relatos mostram um possível efeito tóxico para os ecossistemas em questão, com um impacto sobre um serviço do ecossistema essencial para a sobrevivência destas comunidades, que pode ser resultado da contaminação gerada pela Plumbum ou por outros impactos que o rio Subaé vem sofrendo.

A contaminação dos compartimentos ambientais e da biota atualmente

A Tabela 1 apresenta uma compilação dos dados existentes sobre a determinação dos metais Pb e Cd nos compartimentos ambientais e na biota. Pode-se notar que a contaminação persiste na biota associada a solos e sedimentos contaminados.

Uma das conclusões da análise de risco à saúde humana realizada pela Funasa (2003) é a de que os mariscos contaminados constituíam-se em uma rota presente e possivelmente em uma rota futura de contaminação humana. Os dados levantados neste

estudo e em estudos anteriores corroboraram a contaminação passada, presente e possível contaminação futura da cadeia trófica deste compartimento aquático. Os autores recomendaram a realização de estudos que determinem os pontos de maior concentração dos metais nos sedimentos, principalmente nas proximidades da Plumbum, para melhor delimitar as áreas que oferecem riscos.

Hatje *et al.* (2006) estudaram a contaminação por metais no rio Subaé, a estrutura da comunidade de organismos bentônicos (coletados no sedimento), e a contaminação por metais em amostras de solo nas vizinhanças da usina da Plumbum. As estações de coleta no canal principal do rio estavam distribuídas desde o estuário, na baía de Todos os Santos, até a montante da cidade de Santo Amaro. Os metais analisados na fração < 63 μm foram: Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn. Além da digestão para a análise total com água-regia, foi realizada outra com solução de HCl 1M, utilizada para obter dados sobre biodisponibilidade. A menor concentração total no sedimento foi de Cd (0,223 mg/kg) e a maior de Zn (877 mg/kg). Nas amostras de solo, as maiores concentrações foram de Pb (> 15091 mg/kg) e de Zn (2291 mg/kg). Das extrações com HCl 1M, Cd, Zn, Mn e Pb apresentaram as maiores porcentagens de recuperação com 60 a 90%, 60%, 60% e 80%, respectivamente, sugerindo que esses metais foram, principalmente, solubilizados pela dissolução de óxidos metálicos. Os resultados obtidos com a análise das comunidades bentônicas indicaram que estas foram negativamente afetadas pelas altas concentrações de metais, especialmente de Co em todas as estações amostradas. Os autores concluíram que o passivo da usina da Plumbum representa uma fonte contemporânea (alta mobilidade e contínuo alto potencial de impacto ambiental) de contaminação fluvial, subterrânea e atmosférica de metais como Pb, Zn e Cd.

Hatje *et al.* (2010) determinaram a concentração de As em amostras de sedimento coletadas em 11 pontos ao longo do canal principal do rio Subaé. A fração analisada foi a < 63 μm . Além do AsT (arsênio total) foi realizada a análise das espécies As(III) e As(V). De acordo com CRA (2004, *apud* HATJE, 2010) as concentrações de *background* de AsT na baía de Todos os Santos variam de 5 a 17 mg/kg. As concentrações de As(V) são maiores, representando entre 69 e 83% do As presente no sedimento. Esta espécie é menos tóxica que o As(III) e menos móvel, apresentando maior adsorção ao sedimento. A concentração de AsT (5-15 mg/kg) e As(III) (1-3 mg/kg) diminuiu da foz para montante. Os autores atribuíram esta distribuição às regiões petrolíferas na baía de Todos os Santos e ao passivo da usina da Plumbum.

O trabalho de Santos (2011) confirma que a exposição humana à biota contaminada continua atualmente. Em amostras oriundas de três associações de pescadores em São Francisco do Conde, coletadas durante os anos de 2010 e 2011, foram encontrados altos teores de Pb em amostras de sururu (*Mytella guyanensis*), variando numa faixa de 0,28 $\mu\text{g/g}$ a 5,4 $\mu\text{g/g}$, e em amostras de camarão (*Penaeus brasiliensis*), variando de 0,19 $\mu\text{g/g}$ a 3,4 $\mu\text{g/g}$, peso seco, excedendo o limite estabelecido pela Anvisa (BRASIL, 1998) de 2,0 $\mu\text{g/g}$. Em relação ao cádmio, o sururu (*M.guyanensis*), com teor máximo de 1,1 $\mu\text{g/g}$, ultrapassou o limite desse metal estabelecido pela Anvisa

(BRASIL, 1998), que é de 1,0 µg/g. As amostras de tainha (*Mugil brasiliensis*) e de robalo (*Centropomus undecimalis*) apresentaram baixos teores de chumbo (0,10 a 0,81 µg/g e 0,14 a 1,5 µg/g, respectivamente), dentro dos valores recomendados pela Anvisa, o que está de acordo com o comportamento dos metais, já que tendem a se depositar no sedimento e não permanecem na coluna d'água.

No trabalho de Ramos *et al.* (2012a), as concentrações de Zn, Cu, Pb, Hg e Cd foram determinadas em exemplares de *Callinectes exasperatus* (siri) capturados na baía de Todos os Santos por pescadores locais utilizando técnicas artesanais, e adquiridos no porto de Acupe, distrito de Santo Amaro. Os resultados das análises para o Pb apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção, tendo o mesmo ocorrido com o Cd nas amostras de tecido muscular. Os principais locais de armazenamento de cobre e zinco foram as brânquias e músculo, respectivamente; para o cádmio e o mercúrio, as vísceras constituíram o principal local de armazenamento. Os valores de metais encontrados no estudo, em peso seco, variaram entre 73,29 e 202,74 µg/g para o Zn; 47,66 e 290,7 µg/g para o Cu; 0,71 a 1,96 µg/g para o Cd, e 1,13 a 4,43 µg/g para o Hg. Após conversão para peso úmido, foi verificado que os níveis de mercúrio (vísceras) e cobre (vísceras e brânquias), estão acima dos limites estabelecidos pelos órgãos sanitários, devendo os riscos associados ao seu consumo ser avaliados (RAMOS *et al.*, 2012a).

Os teores de cobre encontrados por Ramos *et al.* (2012b) em *Ucides cordatus* (caranguejo-uçá), coletados na região entre Acupe e São Francisco do Conde, variaram entre 41,33 e 329 µg/g e 43 e 284 µg/g, em peso seco, em fêmeas e machos, respectivamente. As brânquias constituíram o principal local de acumulação do cobre. Em relação aos níveis de zinco, estes variaram entre 86,94 e 300,55 µg/g (peso seco) nas fêmeas, e 68,94 e 266,11 µg/g (peso seco) nos machos, sendo o tecido muscular o principal sítio de acumulação do zinco.

Em relação à contaminação no solo, o trabalho de Rabelo (2010) concluiu que as antigas emissões atmosféricas ainda desempenham um papel importante na contaminação de áreas no entorno da Plumbum, onde se verificou uma clara correlação entre os valores de concentração no solo e os valores obtidos na simulação da concentração atmosférica, indicando que, quanto mais próximo da fábrica, maiores os níveis de contaminação no solo. Os resultados deste trabalho também evidenciaram que o aumento dos níveis de contaminação na área urbana está diretamente relacionado ao uso de escória para pavimentação de ruas e aterro de quintais da cidade. Em geral, os resultados confirmam a persistência nos níveis de contaminação por chumbo e um pequeno decréscimo para o cádmio, quando comparados com estudos realizados anteriormente.

A atual contaminação do solo se reflete na contaminação de frutas e verduras, onde os vegetais folhosos têm apresentado concentrações mais altas de metais do que as frutas locais. Magna *et al.* (2011) estudaram vegetais que ocorriam em quintais e hortas de moradores próximos a usina da Plumbum e gramíneas em áreas adjacentes a

usina. Os alimentos vegetais selecionados foram: acerola (*Malpighia glabra* L.), aroeira (*Schinus molle* L.), alumã (*Vernonia bahiensis* Toledo), banana (*Musa paradisiaca* L.), boldo do Chile (*Peumus boldus* Molina), capim santo (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.), cana (*Arundo donax* L.), cidreira (*Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Britton & P. Wilson), goiaba (*Psidium cattleyanum* Sabine), limão (*Citrus limonum* Risso), laranja (*Citrus aurantium* L.) e manga (*Mangifera indica* L.). As espécies de gramíneas analisadas foram capim de burro (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) e capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.). Na localidade de referência, Oliveira dos Campinhos, foram selecionadas as espécies vegetais banana, limão, aroeira, cana, cidreira, capim santo, alumã e boldo do Chile. Os resultados obtidos detectaram a presença de Pb (de 0,18 até 118,2 mg/kg) e Cd (de 0,04 até 7,39 mg/kg). Todos os alimentos vegetais avaliados apresentaram conteúdos médios de Pb e Cd acima dos valores limites permitidos pela OMS. As gramíneas apresentaram conteúdos de Pb (máximo de 820 mg/kg) e Cd (máximo de 7,99 mg/kg). Os valores de concentração obtidos nos alimentos vegetais e gramíneas variaram conforme a espécie vegetal.

Apesar do risco de consumo de alguns grupos de alimentos cultivados em solo dos quintais contaminados ou consumo de mariscos oriundos de sedimento contaminado, o trabalho realizado por Almeida e Pena (2011), com o objetivo de compreender os significados do risco da contaminação alimentar para os feirantes de Santo Amaro, apontou que a possível contaminação pelo chumbo é percebida pelos entrevistados como algo distante. Os autores concluíram que a percepção do risco está presente no pensamento e na reflexão quando há questionamento acerca do tema, mas não na prática cotidiana, o que aponta para a necessidade de trabalhos de conscientização desta população.

Efeitos ecológicos e ecotoxicológicos já demonstrados

No caso da área da antiga Plumbum e seus arredores, uma Análise de Risco Ecológico (ARE) foi realizada por Niemeyer *et al.* (2010) entre os anos de 2006 e 2008, integrando informações de três linhas de evidência: química, ecotoxicológica e ecológica (JENSEN; MESMAN, 2006). Foram analisados 11 pontos, distantes até 1000 m da área da antiga fundição da Plumbum, distribuídos em dois transectos, e mais três locais de referência, distantes três e nove km da área. Os resultados da fase de varredura da ARE ou fase 1 são apresentados em Niemeyer *et al.* (2010), enquanto que os resultados da fase 2 estão publicados em Niemeyer *et al.* (2012a, 2012b) e serão apresentados em uma tese de doutorado que encontra-se em fase de finalização (NIEMEYER, *in preparation*).

A linha de evidência química da fase 1 da ARE apontou altas concentrações totais de metais, especialmente Pb, Cd, Cu e Zn, no solo superficial da área da Plumbum e arredores. Apesar da baixa extractabilidade dos metais em extrações brandas realizadas com uma solução CaCl_2 0,01M, o que significaria baixa biodisponibilidade dos metais para os organismos, altos valores de risco ecológico foram determinados para vários

locais dentro da área da Plumbum, indicados pelos ensaios de ecotoxicidade e por avaliações ecológicas em campo (NIEMEYER *et al.*, 2010).

A linha de evidência ecotoxicológica da fase 1 da ARE incluiu ensaios comportamentais com invertebrados de solo, os chamados ensaios de comportamento de fuga, normatizados internacionalmente pela Norma ISO 17512-2 (ISO, 2011) para colêmbolos, e pela Norma ISO 17512-1 (ISO, 2008) para minhocas, esta última já adotada nacionalmente pela Norma ABNT NBR/ISO 17512-1 (ABNT, 2011). Os ensaios comportamentais com minhocas e colêmbolos mostraram que estes organismos evitaram os solos de todos os pontos contaminados quando comparados aos locais de referência. Isto significa que, no ambiente, temos a perda destes grupos de organismos no solo e conseqüentemente temos um impacto sobre os processos de ciclagem de nutrientes, estrutura e fertilidade do solo, além de impacto sobre a cadeia trófica, já que tais organismos servem de alimento para outros. As minhocas são organismos considerados “engenheiros do ecossistema” porque estão entre os invertebrados de solo mais importantes em termos de biomassa e atividade, influenciando a estrutura e a composição química do solo, e particularmente os processos de decomposição do material orgânico (RÖMBKE *et al.* 2005). Já os colêmbolos são considerados “catalisadores” do processo de ciclagem de nutrientes (ZEPPELINI FILHO; BELLINI, 2004). Além dos ensaios com a matriz solo, ensaios de ecotoxicidade aquáticos com bactérias e cladóceros foram realizados com elutriados dos solos, e apontaram um comprometimento da função de retenção do solo nos locais correspondentes aos depósitos de escória dentro da área da Plumbum, indicando risco da contaminação migrar para águas subterrâneas ou superficiais (NIEMEYER *et al.*, 2010).

Na linha de evidência ecológica da fase 1 da ARE foi observado um baixo índice de cobertura vegetal nos pontos dentro da área da Plumbum, e baixa atividade alimentar de organismos do solo, usando-se o ensaio *bait lamina*, indicando impacto para plantas e invertebrados de solo (NIEMEYER *et al.*, 2010). Ao integrar os resultados das três linhas de evidência (química, ecotoxicológica e ecológica) na fase de varredura da ARE, um alto risco ecológico foi indicado nos pontos dentro da área da Plumbum (NIEMEYER *et al.*, 2010), o que foi confirmado posteriormente através de ensaios de ecotoxicidade crônica (Niemeyer *et al.*, *in preparation*) e avaliações ecológicas mais detalhadas (Niemeyer *et al.*, 2012a, 2012b).

Os solos de áreas de deposição de rejeitos costumam ser instáveis e podem ser fontes de contaminação de outros compartimentos ambientais. Esta situação é visível atualmente na área da antiga fábrica da Plumbum, como se pode ver na Figura 1, mostrando a ausência de vegetação em épocas secas, com a possível dispersão de poeira, e as evidências do escoamento superficial ocasionado pelas chuvas, descobrindo o rejeito que está logo abaixo de uma fina camada de solo. O trabalho de Oliveira *et al.* (2011) apresentou dados sobre a contaminação por poeira em ar condicionados na cidade de Santo Amaro, o que evidenciou a exposição atual da população por esta rota, neste caso provavelmente a contaminação é ocasionada pela poeira das ruas e quintais contaminados.

Outro trabalho, ainda não publicado (NIEMEYER *et al.* *in preparation*), incluiu uma amostragem de sedimento no canal que liga a área da Plumbum ao rio Subaé, além de um ponto a montante e outro a jusante no próprio rio. Os resultados apontaram altas concentrações de metais no sedimento do canal, especialmente Pb, Cd, Zn, Cu, Hg e As. Além da análise química, os sedimentos dos três pontos foram avaliados em ensaios de ecotoxicidade. O ensaio realizado com *Heterocypris incongruens* (Crustacea, Ostracoda) para avaliar o efeito sobre o crescimento após seis dias de exposição ao sedimento, apresentou 100% de mortalidade para os organismos expostos ao sedimento do canal, indicando alta toxicidade. O ensaio realizado com larvas do inseto *Chironomus riparius* (Insecta, Diptera), para avaliar o crescimento após 10 dias de exposição, apontou um crescimento significativamente inferior nas larvas expostas ao sedimento do canal em relação aos outros pontos, indicando toxicidade. Já o ensaio realizado com peixes da espécie *Danio rerio* para observar a sobrevivência após 96 h de exposição, indicou ausência de toxicidade na coluna de água obtida pela adição de água ao sedimento de cada um dos pontos (NIEMEYER *et al.*, *in preparation*). Os resultados deste trabalho, bem como os resultados já mostrados por Anjos (2003), apontam a contaminação do canal e a provável migração dos contaminantes da área da Plumbum para o rio Subaé, o que indica a necessidade de medidas de intervenção na área da Plumbum para impedir a migração destes contaminantes para dentro do rio.



Figura 1 – Esquerda: a área da Plumbum na estação seca (ausência de cobertura vegetal). Direita: evidência de escoamento superficial após a chuva em uma área de deposição de rejeitos. Imagens registradas em 2008. Fotos: Júlia Niemeyer.

O estabelecimento de uma cobertura vegetal torna-se essencial para estabilizar a área descoberta e para minimizar os problemas de contaminação de outros compartimentos ambientais (OLIVEIRA *et al.*, 2006), e está entre as diversas técnicas de controle e de remediação que podem ser aplicadas na área da Plumbum (ANJOS; SÁNCHEZ, 2001). Um exemplo da importância da vegetação pode ser visto em Anjos (2003) que avaliou a eficiência de uma zona úmida (ou *wetland*), situada à jusante do principal barramento de escória na área da Plumbum e com extensão de cerca de 90 m, no controle da contaminação das águas superficiais. Esta zona úmida teve origem em um aterro para canalização de águas pluviais do empreendimento. O autor concluiu que esta zona úmida se mostrava eficaz para o controle da contaminação das águas superficiais, uma vez que retinha a grande maioria dos metais.

Na restauração de áreas contaminadas, além da escolha correta das técnicas de controle e remediação, faz-se necessário a escolha de uma vegetação apropriada para o local, tanto em termos de tolerância às condições locais, quanto com os objetivos de estabilização do solo (fitoestabilização), melhoramento do aspecto visual e diminuição da exposição humana ao solo contaminado (WONG, 2003). Em trabalhos de restauração de áreas degradadas, também é importante que o processo de sucessão ecológica ocorra da forma mais semelhante possível em relação à condição natural da região. Para tanto, faz-se importante entender como os processos sucessionais ocorrem em cada área, e tais estudos ainda são escassos em áreas contaminadas no Brasil.

Em solos contaminados por metais, além da toxicidade, outros fatores podem ser adversos ao estabelecimento da vegetação, tais como, ausência de solo superficial, erosões periódicas, estação seca, compactação, ampla flutuação da temperatura e escassez de nutrientes essenciais (WONG, 2003). Por isso, faz-se importante a utilização de espécies que tenham potencial para tolerar tais condições. No caso de Santo Amaro, Viana (2008) estudou o potencial da mamona (*Ricinus communis* L.) para uso em processo de fitorremediação na área da antiga Plumbum e arredores. Esta espécie ocorre naturalmente no local e poderia servir como alternativa econômica para a região, já que pode ser explorada comercialmente para a ricinoquímica e produção de biodiesel a partir da semente. Os resultados apontaram que a mamona não concentra As, Cd, Pb, Zn e Cu no óleo, porém acumula Zn e Cu na casca e na torta, produzida durante a extração do óleo, indicando a necessidade de estudos adicionais sobre o aproveitamento da torta como adubo orgânico neste caso. O estudo de Azzollini (2008), realizado em áreas de depósito de cinza de carvão mineral no sul do Brasil, conclui que a mamona pode auxiliar no processo de restauração das áreas degradadas, favorecendo o estabelecimento de outras espécies que necessitam de condições mais específicas de substrato, e que pode contribuir para a fitoestabilização de cromo e níquel, principais contaminantes nos locais estudados pelo autor.

Além da importância da vegetação para os objetivos relacionados acima, a microbiota do solo e os processos realizados por ela também estão estreitamente relacionados à vegetação e ao uso do solo (FAGOTTI *et al.*, 2012; NOGUEIRA *et al.*, 2006; ZAK *et al.*, 2003). A vegetação contribui para reduzir a toxicidade dos metais, oferecendo condi-

ções favoráveis aos microrganismos na rizosfera (DIAS-JUNIOR *et al.*, 1998), e pelo fornecimento de material orgânico que serve como fonte de carbono e energia para os microrganismos. No caso da área da Plumbum, Niemeyer *et al.* (2012a) concluíram que, além do efeito direto da toxicidade dos metais sobre a atividade e a biomassa microbiana no solo, há efeitos indiretos relacionados às mudanças na cobertura vegetal, taxas de carbono orgânico do solo, pH e disponibilidade de nutrientes. Esses atributos têm alterado o microclima e as propriedades físico-químicas do solo, e dessa forma o solo deixa de servir como habitat para os microrganismos (o que chamamos de perda da função de habitat), e conseqüentemente temos um impacto sobre os processos-chave desempenhados por estes organismos, como a ciclagem do carbono e dos nutrientes.

O processo de decomposição de material orgânico foi avaliado por Niemeyer *et al.* (2012b) em locais dentro e fora da área da antiga Plumbum, distantes até 1 km, e em três locais de referência, distantes 3 km e 9 km. A técnica utilizada foi a montagem de bolsas de decomposição, os chamados *litter bags*, seguindo-se as recomendações da Norma OECD (2006) e o recomendado por Römbke *et al.* (2003). As bolsas foram preenchidas com folhas de aroeira-vermelha *Schinus terebinthifolius* Raddi e expostas por períodos de 15, 43, 83 e 131 dias. Os resultados mostraram baixas taxas de decomposição dentro da área da fábrica, onde este processo foi significativamente comprometido, e os resultados apontaram que a taxa de decomposição foi negativamente correlacionada com as concentrações de metais. Isto pode ser explicado pela reduzida atividade microbiana nestes locais (NIEMEYER *et al.* 2012a), reduzida atividade alimentar da fauna do solo (NIEMEYER *et al.* 2010), e menor densidade de detritívoros, aliados às condições de baixa umidade e altas temperaturas nos locais mais expostos sem cobertura vegetal. Ou seja, o impacto sobre este serviço do ecossistema (decomposição) está relacionado não só aos efeitos diretos da toxicidade dos metais, mas também aos efeitos indiretos ocasionados pelas características físicas dos locais com disposição de rejeitos e pela ausência de cobertura vegetal, resultando em condições adversas para os microrganismos e para a fauna do solo (NIEMEYER *et al.* 2012b).

Conclusão geral

Os dados existentes sobre a determinação de metais em solos da área da Plumbum e arredores, e nos quintais das casas das ruas Rui Barbosa e Sacramento, e em sedimentos do estuário do rio Subaé, indicam a persistência da contaminação por metais nestes compartimentos. Os dados das determinações de metais na biota apontam para a biodisponibilidade de Pb e Cd para mariscos no estuário do Rio Subaé, e para plantas (gramíneas, frutas e ervas) nos arredores da Plumbum e nos quintais das casas que receberam escória. Os níveis de Pb e Cd em mariscos continuam acima dos níveis máximos recomendados pela Anvisa para consumo humano.

As avaliações ecológicas e ecotoxicológicas realizadas na área da Plumbum e arredores indicaram impacto negativo sobre serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes e produtividade vegetal, e impacto sobre a função de retenção do solo, o que indica que a contaminação ainda pode migrar para outros compartimentos ambientais, como água subterrânea e águas superficiais próximas, como o rio Subaé.

Em geral, os resultados indicaram risco ecológico para os organismos e processos do solo mesmo após quase duas décadas do término das atividades da Plumbum, relacionado à exposição dos receptores ecológicos ao solo contaminado. A avaliação de risco ecológico realizada na área da Plumbum e arredores apontou um alto risco ecológico em locais dentro da área da Plumbum, indicando a necessidade de medidas de remediação e posterior restauração da área. A restauração ecológica das áreas degradadas e o reestabelecimento dos processos ecológicos (por exemplo, a partir da reestruturação da comunidade vegetal de acordo com o ecossistema no qual está inserida), são essenciais para melhorar as condições ecológicas do local e assim evitar que a contaminação continue se dispersando através da poeira e do escoamento superficial para outros locais.

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Qualidade do solo — Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento. Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*). NBR ISO 17512-1. Rio de Janeiro, 2011.
- ALLEN, H.E. (Ed.). *Bioavailability of metals in terrestrial ecosystems: Importance of partitioning for bioavailability to invertebrates, microbes, and plants*. SETAC Press, Pensacola, FL, US, 2002. 176 p.
- ALMEIDA, M. D.; PENA, P. G. L. Feira livre e risco de contaminação alimentar: estudo de abordagem etnográfica em Santo Amaro, Bahia. *Revista Baiana de Saúde Pública*, v. 35, p. 110-127, 2011.
- ALVARENGA, P. *et al.* Evaluation of tests to assess the quality of mine-contaminated soils. *Environ Geochem Health*, v. 30, p. 95-99, 2008.
- ANJOS, J.A.S.A. 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. Salvador, 2003. Tese (doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- ANJOS, J.A.S.A., SÁNCHEZ, L.E. Plano de gestão ambiental para sítios contaminados por resíduos industriais –o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. *Bahia Análise & Dados*, v. 10, p. 306-309, 2001.

ANTUNES, S. C. *et al.* Contribution for tier 1 of the ecological risk assessment of Cunha Baixa uranium mine (Central Portugal): II. Soil ecotoxicological screening. *Science of the Total Environment*, v. 390, p. 387–395, 2008.

AZZOLINI, M. Restauração ecológica de áreas impactadas por cinzas de carvão mineral: contribuição da Mamona (*Ricinus communis* L.) e respostas da espécie a metais pesados. Porto Alegre, 2008. Tese (Doutorado em Botânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria 685, de 27 de agosto de 1998. ANVISA, 1998.

CARVALHO, F. *et al.* Absorção e Intoxicação por Chumbo e Cádmiio em Pescadores da Região do Rio Subaé. *Ciencia e Cultura*, v. 35, p. 360-366, 1982.

CARVALHO, F. *et al.* Intoxicação pelo chumbo: zinco protoporfirina no sangue de crianças de Santo Amaro da Purificação e de Salvador, BA. *Jornal de Pediatria*, v. 72, p. 295-298, 1996.

COSTA, A.C.A. Avaliação de alguns efeitos do passivo ambiental de uma metalurgia de chumbo em Santo Amaro da Purificação, Bahia. Dissertação (mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil, 2001.

DIAS-JUNIOR, H. E. *et al.* Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 22, p. 631-640, 1998.

DOUAY, F. *et al.* Contamination of woody habitat soils around a former lead smelter in the North of France. *Science of the Total Environment*, v. 407, p. 5564–5577, 2009.

DOUAY, F. *et al.* Assessment of potential health risk for inhabitants living near a former lead smelter. Part 1: metal concentrations in soils, agricultural crops, and homegrown vegetables. *Environmental Monitoring Assessment, online first*, 2012.

FAGOTTI, D.S.L. *et al.* Gradients in N-cycling attributes along forestry and agricultural land-use systems are indicative of soil capacity for N supply. *Soil Use Manage, online first*, 2012.

FERNANDEZ, M.D. *et al.* Ecological risk assessment of contaminated soils through direct toxicity assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 62, p. 174–184, 2005.

FUNASA (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE). Avaliação de risco à saúde por exposição a metais pesados em Santo Amaro da Purificação-BA. 2003. Disponível em: <http://www.acpo.org.br/saudeambiental/CGVAM/02_Avaliacao_de_Risco/05_Santo%20Amaro_BA/Parte%2001%20Ficha%20t%E9cnica%20e%20EDndice.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2009.

HATJE, V. *et al.* Trace metal contamination and benthic assemblages in Subaé estuarine system, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 52, p. 969-987, 2006.

HATJE, V. *et al.* Inorganic As speciation and bioavailability in estuarine sediments of Todos os Santos Bay, BA, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, p. 2225-2232, 2010.

ISO - International Organization for Standardization. Soil quality – Avoidance test for testing the quality of soils and the toxicity of chemicals – Test with earthworms (*Eisenia fetida*). ISO 17512-1. International Organization for Standardization, Geneva, 2008.

ISO - International Organization for Standardization. Soil quality – Avoidance test for testing the quality of soils and effects of chemicals – Part 2: Test with collembolans (*Folsomia candida*) ISO 17512-2. International Organization for Standardization, Geneva, 2011.

JÄRUP, L. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, v. 68, p. 167-182, 2003.

JENSEN, J; MESMAN, M. (Eds.). Ecological risk assessment of contaminated land – Decision support for site specific investigations. RIVM report 711701047. The Netherlands, 2006. 136 p

MACHADO, S. Estudo da Influência na Contaminação do Solo por Metais Pesados Derivada das Emissões Atmosféricas de uma Metalúrgica Desativada no Município de Santo Amaro – BA, In: *X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 28 de fevereiro a 3 de março 2010. Centro Cultural e de Exposições de Maceió. Maceió, AL. 9 p. 2010.

MAGNA, G.A.L. *et al.* Conteúdo de Cd e Pb em alimentos vegetais e gramíneas no Município de Santo Amaro–BA. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos REGEO/Geossintéticos 2011* – Belo Horizonte, MG, Brasil, 21 a 24 de novembro de 2011.

NIEMEYER, J.C. *et al.* Environmental risk assessment of a metal contaminated area in the tropics. Tier I: screening phase. *Journal of Soils and Sediments*, v. 10, p. 1557-1571, 2010.

NIEMEYER, J.C. *et al.* Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 59, p. 96-105, 2012a.

NIEMEYER, J.C. *et al.* Functional and structural parameters to assess the ecological status of a metal contaminated area in the tropics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 86, p. 188-197, 2012b.

NOGUEIRA, M.A. *et al.* Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 115, p. 237-247, 2006.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. *Breakdown of organic matter in litter bags*. Paris, France, 2006.

OLIVEIRA, E.R. *Parecer técnico sobre a ampliação da Companhia Brasileira de Chumbo, em Santo Amaro, Ba. Salvador*. CEPED - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento/Secretaria do Planejamento, Ciências e Tecnologia. Programa de Proteção ao Meio Ambiente, 1977. 88 p.

OLIVEIRA, D. M. *et al. Fitorremediação: o estado da arte*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, (Série Tecnologia Ambiental, 39), 49 p. 2006.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Determinação dos teores de Cd, Pb, Cu e Zn em material particulado atmosférico da cidade de Santo Amaro/BA. In: *Anais da 34ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, 2011. Florianópolis, SC, Brasil, 23 a 26 de maio de 2011.

RABELO, T. S. *Estudo da contaminação remanescente de chumbo e cádmio no município de Santo Amaro – BA*. Dissertação (mestrado), Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Salvador, 2010.

RAMOS, M. A. V. *et al.* Avaliação dos teores de metais traços em *Callinectes exasperatus* (Crustacea: Decapoda) capturados na baía de Todos os Santos, Brasil. In: *XXIX Congresso Brasileiro de Zoologia*, 2012. Salvador, BA, Brasil, 5 a 9 de março de 2012. 2012a.

RAMOS, M. A. V. *et al.* Avaliação dos níveis de cobre e zinco em diferentes tecidos de *Ucides cordatus* (Decapoda: Ocypodidae) capturados na Baía de Todos os Santos. In: II COBESA, 2012 Feira de Santana, BA, Brasil 08 a 13 de Julho de 2012. 2012b.

RÖMBKE, J. *et al.* (Eds.). *Effects of Plant Protection Products on Functional Endpoints in Soils (EPFES)*. SETAC Press, Pensacola, US, 2003.

RÖMBKE, J.; JÄNSCH, S.; DIDDEN, W. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 62, p. 249–265, 2005.

SANTOS, L. F. P. *Avaliação dos teores de cádmio e chumbo em pescado proveniente de São Francisco do Conde, Bahia*. Dissertação (mestrado), Universidade Federal da Bahia, Escola de Nutrição, Salvador, 2011. 75 p.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. *Using toxicity tests in ecological risk assessment*. ECO Update. Publication 9345.0-051. EPA 540-F-94-012. PB94-963303. Intermittent Bulletin, Volume 2, Number 1. September 1994.

VIANA, A.S. Potencial de absorção do fruto da mamona (*Ricinus communis*, Linnaeus 1764) no processo de fitorremediação de solo contaminado por metais pesados - o caso da Plumbum LTDA., Santo Amaro da Purificação, Bahia. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador, 2008.

WALKER, C. H. *et al.* *Principles of Ecotoxicology*. 3. ed. Boca Raton, Fl: Taylor & Francis, 2006. 315 p.

WEEKS, J.M. *et al.* *Biological Test Methods for Assessing Contaminated Land, Stage 2: A demonstration of the use of a framework for the ecological risk assessment of land contamination*. Environment Agency of England and Wales, Science Report P5-069/TR1, 2004. 108 p.

W.H.O. (WORLD HEALTH ORGANIZATION). *Lead in drink water*. 2003. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/75370/1/WHO_SDE_WSH_03.04_09_eng.pdf> Acesso em: 20 de outubro de 2012.

W.H.O. (WORLD HEALTH ORGANIZATION). *Cadmium in drink water*. 2004. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/75364/1/WHO_SDE_WSH_03.04_80_eng.pdf> Acesso em: 20 de outubro de 2012.

W.H.O. (WORLD HEALTH ORGANIZATION). Chapter 12: Chemical Fact Sheet. In: *Guidelines for drink water quality*. 2011. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_chapters/en/index.htm>. Acesso em: 20 de outubro de 2012.

WONG, M.H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, v. 50, p.775-780, 2003.

ZAK, D.R. *et al.* Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology*, v. 84, p. 2042-2050, 2003.

ZEPPELINI FILHO, D.; BELLINI, B.C. *Introdução ao estudo dos Collembola*. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, 2004. 82 p.

Tabela 1 - Resumo dos dados existentes sobre a contaminação por metais nos compartimentos ambientais e biota relacionados ao caso da Plumbum em Santo Amaro (BA).

Compartimento Ambiental	Concentração de metais (mg/kg ou mg/L)						Valores de referência		Fonte
	Chumbo			Cádmio			Pb	Cd	
	Mínima	Média	Maxima	Mínima	Média	Máxima			
Águas do rio Subaé	0,04		6,18	0,0042		0,0813	0,01	0,003	Reis, 1975*
		1,6	6,0						CEPED #
			37,2			0,46			Cunha; Araújo, 2001•
Sedimentos do rio Subaé				0,5	23,7	120	2,0 ⁿ	1 ⁿ	Donnier <i>et al.</i> , 1977@
Sedimentos do rio Subaé em São Brás		119			1,19				UFBA, 1996•
Sedimentos do rio Subaé em São Francisco do Conde		62,2			0,189				UFBA, 1996•
Sedimentos da baía de Todos os Santos				877		0,223			Hatje <i>et al.</i> , 2006
Peixes		1,03			0,19				Cunha; Araújo, 2001•
Tainha	0,1		0,81				2,0 ⁿ	1 ⁿ	Santos, 2011
Robalo	0,14		1,5						CEPED #
Ostras					4		2,0 ^Δ	1 ^Δ	Donnier <i>et al.</i> , 1977@
				80		135			CEPED #
Siris				13		40			Donnier <i>et al.</i> , 1977@
Vísceras de siris				1,13		4,43			Santos, 2012a
Sururus				40		60			Donnier <i>et al.</i> , 1977@
		5,73							Funasa, 2003
Sururus - São Brás		1,36			0,86				UFBA, 1996•
		1,15			1,06				Cunha; Araújo, 2001•
Sururus - São Francisco do Conde		33,7			0,25				UFBA, 1996•
	0,28		5,4			1,1			Santos, 2011
Camarão - São Francisco do Conde	0,19		3,4				Santos, 2011		

n ANVISA, decreto, 1965

Δ ANVISA, 1998

" peso seco

* *Apud* Santos, 2011

período de 1975 a 1980

@ *Apud* Carvalho *et al.*, 1982

• *Apud* FUNASA, 2003

Tabela 1 – Continuação...

Compartimento ambiental	Concentração de metais (mg/kg ou mg/L)						Valores de referência		Fonte		
	Chumbo			Cádmio			Pb	Cd			
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima					
Frutas e verduras				0,004			0,5 ⁿ	0,5 ⁿ	CEPED #		
Banana e laranja	0,01								Cunha; Araújo, 2001•		
Manga	0,530	0,601	0,685						CEPED #		
Frutas e chás	0,18		118,2	0,04		7,39			Funasa, 2003		
Tubérculos		14,1				2,32			Magna <i>et al.</i> , 2011		
Aipim	0,610	0,691	0,808						Cunha; Araújo, 2001•		
Vegetais folhosos			215			11,8			Funasa, 2003		
Gramíneas		85				41,3			CEPED #		
Gramíneas									1	0,03-0,3 ⁿ	Cunha; Araújo, 2001•
300 m		26,4				1,07					Costa, 2001 (peso umido)
< 1 km		4,13				0,635					
> 6 km		6,03				0,201					
> 10 km		4,19				0,096					
> 14 km		0,767				0,263					
Gramíneas			820			7,99	Magna <i>et al.</i> , 2011				

n ANVISA, decreto, 1965

Δ ANVISA, 1998

" peso seco

* *Apud* Santos, 2011

período de 1975 a 1980

@ *Apud* Carvalho *et al.*, 1982

• *Apud* FUNASA, 2003