

CONTAMINAÇÃO POR CHUMBO, RISCOS, LIMITES LEGAIS E ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO

Valmir de Souza

Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio pela
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
Professor da Faculdade de Ensino Superior de Marechal Cândido Rondon (UNIFASS)
E-mail: soumcal@hotmail.com

Odorico Konrad

Doutor em Engenharia Ambiental e Sanitária pela
Montanuniversität Leoben (UNILEOBEN), Austria
Professora do Centro Universitário Univates (UNIVATES).
E-mail: okonrad@univates.br

Afonso Celso Gonçalves Junior

Doutorado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
Mestrado em Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM).
E-mail: affonso133@hotmail.com

RESUMO

A manipulação de chumbo contribui, hoje, para a contaminação do meio ambiente, tendo além dos teores naturais, os teores devidos a ações antrópicas, como indústria de baterias, automóveis, siderúrgicas e fertilizantes, entre outros, apresentando grande potencial de dano aos organismos vivos. Com base nos dados da literatura, o presente trabalho procura facilitar a compreensão acerca do risco ambiental que isso representa, demonstrando que a legislação sobre o tema ainda é permissiva. A contaminação por chumbo continua significativa, pois o setor produtivo, mesmo trabalhando dentro dos “limites” aumenta os teores de chumbo no solo e água, contaminando o meio ambiente e agravando os problemas na cadeia trófica. Diante dessa constatação, o que se questiona é possibilidade de reverter o quadro de degradação das áreas contaminadas. O objetivo desta pesquisa é mostrar os riscos do chumbo ao ambiente e à saúde dos organismos vivos, realizando uma análise da legislação vigente e apresentando a opção de utilização da técnica de fitoextração pelo uso de plantas hiperacumuladoras, por meio da absorção pelas raízes como forma de remediação dos solos contaminados.

Palavras-chave: Metais. Contaminação de solos. Princípio do limite. Fitoremediação.

*LEAD CONTAMINATION, RISK, LEGAL LIMITS
AND ALTERNATIVES OF REMEDIATION*

ABSTRACT

The lead poisoning today is one of the environmental contamination of forms, and in addition to the natural background levels, the levels due to human activities, such as battery industry, automobiles, steel, fertilizers etc., with great potential for damage to living organisms. Based on published data, it was possible to facilitate the understanding of the environmental risk it represents. The lead contamination remains great, and grows more and more, and the legislation on the subject is still permissive. This scenario leaves room for the productive sector to work within the “limits” increasing the levels of lead in soil and water, contaminating the environment and aggravating problems in the food chain. The objective of this research is to show the lead of the risks to the environment and the health of living organisms by performing an analysis of the current legislation, exposing the main sources metal broadcasters, as well as pointing remediation alternatives for contaminated environments.

Keywords: *Metals. Soil contamination. First boundary. Phyto remediation.*

INTRODUÇÃO

Cada vez mais, existe no mundo um maior número de pessoas com o desejo de alimentar-se e sempre com a vontade de alimentar-se ainda melhor. Essa evolução mundial vem desenvolvendo técnicas que facilitem situações do cotidiano para aumentar o conforto da população, lançando novos produtos e inovações que satisfaçam o mercado consumidor (SANTOS, 2013).

Entretanto, apesar de servir como saída temporária para muitas necessidades de primeira ordem, inclusive a alimentação, essas inovações trazem consigo prejuízos para o meio ambiente por liberação ao ambiente de diversos compostos, como pesticidas, antibióticos e, principalmente, metais, oriundos geralmente de resíduos de atividades antrópicas, como mineradoras, siderúrgicas e atividades agrícolas, entre outros (TARLEY & ARRUDA, 2003).

Entre esses contaminantes, o chumbo (Pb) tornou-se presença constante nos solos, seja por origem natural (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001), devido ao intemperismo, ou pelas atividades anteriormente citadas. Nessa situação, dependendo dos teores de chumbo que o solo contiver, ele pode apresentar riscos aos organismos vivos que dependem do meio contaminado (BRASIL, 2009).

Essa toxicidade exercida pelo Pb no ar, nas águas e nos solos pode ser visível em plantas cultivadas, em seres humanos que se alimentam dos produtos originados delas, em peixes ou em pessoas que ingerem a água contaminada ou, simplesmente, respiram o ar com a sua presença.

Devido aos riscos apresentados e ao apelo de diversos cientistas do âmbito ambiental (GONÇALVES Jr. et al., 2014), o Ministério do Meio Ambiente estabeleceu alguns limites para os níveis de contaminantes, tanto no solo quanto na água, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA -, com as resoluções n.º 420/2009 (BRASIL, 2009) e 357/2005 (BRASIL, 2005), respectivamente.

Assim, mesmo existindo legislação que estipule limites - questionáveis -, o setor produtivo continua a contaminar o meio ambiente estando legalmente amparado, situação que constitui, portanto, um problema de pesquisa.

É premente a necessidade de conter os efeitos negativos da utilização do chumbo nas ações antrópicas no meio ambiente; e, nesse contexto, é essencial encontrar medidas que sejam eficazes para a remediação de

áreas contaminadas por Pb, com vistas a reequilibrar o meio ambiente.

Apesar das tentativas de controle do CONAMA, ainda existem casos de contaminação por Pb no País, seja por novas fontes de contaminações, seja por acidentes ambientais ou solos contaminados no passado; mas esses casos só tiveram sua toxicidade constatada agora, representando grande perigo para a sociedade. Para que esses riscos sejam minimizados e esses ambientes possam exercer sua funcionalidade sem nenhuma restrição, deve-se, então, realizar a remediação desses meios.

Para a remediação e descontaminação, existem vários métodos, com a utilização de variados princípios; deve-se destacar, porém, a fitorremediação, que emprega plantas com o objetivo de remover, transferir, estabilizar ou destruir elementos nocivos, evidenciando altos potenciais de remoção e de degradação de poluentes. Cabe observar que a eficiência desse método é dependente da estrutura da molécula contaminante e do mecanismo de ação da planta remediadora, uma vez que esses fatores influenciam diretamente na capacidade de quebra dessas substâncias (GERHARDT et al., 2009).

Assim, a proposta apresentada nesta pesquisa é a de verificar a hipótese da utilização da fitorremediação como forma de minimizar as consequências da presença de chumbo no solo. Conforme Cunningham et al. (1996), esse método pode ser usado em solos contaminados com substâncias orgânicas ou inorgânicas, como metais pesados e outros elementos contaminantes, além apresentar metodologia de descontaminação de corpos hídricos.

Nessa perspectiva, o trabalho apresentará as principais fontes emissoras de Pb, seus riscos ao ambiente e à saúde dos organismos vivos; mostrará a legislação vigente relacionada ao assunto e as alternativas de fitorremediação para esses ambientes.

1 ORIGEM DO METAL

O Pb é um metal de ocorrência natural nos solos, e sua presença ocorre devido ao comportamento específico desse metal de concentrar-se em regiões ácidas dos solos, resultando do intemperismo químico de rochas magmáticas e sedimentos argilosos. Nesses casos, sua concentração natural varia entre 10 a 40 mg kg⁻¹; por sua vez, quando encontrados em rochas calcárias, os teores de chumbo geralmente se apresentam entre 0,1 a 10 mg kg⁻¹. A abundância média de Pb na crosta terrestre é estimada em

cerca de 15 mg kg^{-1} , justificando teores encontrados, muitas vezes, em solos naturais ausentes de manejo antrópico (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Apesar da preexistência do Pb desde os processos pedogenéticos, o crescente aumento de seus teores no solo e sua presença no ambiente é atribuída, exclusivamente, à contaminação antrópica, uma vez que diversos ramos industriais depositam, diariamente, grandes quantidades de Pb no ambiente. São eles as indústrias extrativas e as petrolíferas, as indústrias de tintas e corantes, mas, principalmente, as de baterias e as chumbeiras, além das sucatas automobilísticas, siderúrgicas e de fertilizantes (ANDRADE et al., 2009; FERNANDEZ et al., 2011; NACKE et al., 2013a; GONÇALVES Jr. et al., 2014).

1.1 Propriedades e toxicidade do Pb

O Pb possui número atômico 82 e massa atômica $11,34 \text{ g cm}^{-3}$, sendo um metal de ocorrência natural nos solos (PENHA, 2011).

Sua presença no ambiente pode resultar em uma série de problemas relacionados aos organismos dependentes desses ambientes, incluindo-se a redução no crescimento e até a extinção da vegetação, a contaminação das águas superficiais e dos aquíferos, além da toxicidade direta para os seres humanos, os animais e os microrganismos (ALVES et al., 2008). Atualmente, esse elemento é classificado como o segundo mais perigoso na lista de prioridade da Agência de Proteção Ambiental americana, atrás somente do Arsênio (As) (ATSDR, 2005).

2.2 Principais segmentos industriais contaminantes

Entre os principais ramos industriais que liberam Pb em seus respectivos processos produtivos, algumas indústrias ganham destaque, seja pela grande quantidade de resíduos produzidos ou pela elevada toxicidade que esse metal apresenta. Esses resíduos são, principalmente, as baterias, as chumbeiras, as sucatas automobilísticas, siderúrgicas e os fertilizantes, entre outros.

Com relação às baterias, deve-se considerar que, com a revolução tecnológica, ocorreu um aumento no consumismo eletrônico, e, paralelamente a isso, maior exigência por pilhas menores, mais leves, com maior durabilidade e melhor desempenho, sem levar em conta que, para mostrar

ao consumidor esses indicadores de qualidade, muitas vezes a concentração de elementos tóxicos, principalmente o Pb, é aumentada (BOCHI, FERRACIN & BIAGGIO, 2014). O mercado de baterias é responsável por cerca de 70% do Pb processado mundialmente, devido ao crescimento exacerbado da indústria automobilística, à utilização de baterias nos veículos e a essa nova revolução tecnológica (PAOLIELLO, 2001; MME, 2009).

Para a sustentabilidade desse sistema produtivo, é necessária uma reciclagem, na qual, então, ocorre a geração de resíduos (escória), os quais, muitas vezes, devido à falta de infraestrutura adequada para as unidades recicladoras (chumbeiras), acabam sendo descartados no meio ambiente, onde a dimensão da indústria e a quantidade depositada irão determinar a proporção que essa contaminação irá atingir e a possibilidade de o metal ficar prontamente disponível para ser absorvido pelas cadeias alimentares (FERNANDEZ et al., 2011).

Para o ramo automobilístico, mais inovações são constantemente lançadas no mercado; e, com essa mudança, muitas vezes produtos que estão há algum tempo no mercado são deixados de lado em relação à sua manutenção ou tornam-se obsoletos. Além disso, as estradas e seus incidentes geram milhões de toneladas de resíduos automobilísticos, que são, então, depositados nos denominados “cemitérios de automóveis”, o que torna esses locais fontes potenciais de contaminação (ZHANG et al., 2005).

Essa decomposição e liberação de compostos ao longo do tempo é algo preocupante, devido, principalmente, à constituição dos automóveis, visto que cerca de 64% dos veículos é composto por ferro e aço, 6%, de alumínio e 6%, de Pb, entre outros metais tóxicos que são liberados no ambiente (RECKZIEGEL, 2012).

A atividade siderúrgica, outro ramo considerado vilão, é uma das maiores geradoras de resíduos; estima-se que essa geração seja de cerca de 700 kg de resíduos por tonelada de aço produzido (IISI, 1994). De acordo com a produção nacional de 2013 (34 milhões de toneladas), foram produzidas cerca de 23,8 milhões de toneladas de resíduos. No âmbito mundial, gerou-se cerca de 1,2 bilhões de toneladas de resíduos devido à produção total de 1,6 bilhão de toneladas de aço bruto (IAB, 2014).

Nessa busca por sistemas produtivos de baixo custo, o emprego de resíduos na agricultura apresenta-se como uma excelente opção para reduzir a onerosidade do processo, desde que seja utilizado adequadamente e racionalmente; porém, quando utilizado inadequadamente, esse emprego pode causar sérios danos às plantas, aos seres humanos e aos corpos hídri-

cos (GONÇALVES Jr., 2014).

Esse uso inadequado ocorre onde, segundo Monteiro (2005), em um parecer técnico de 2004 do Ministério da Saúde, desde a década de 70 indústrias de fertilizantes passaram a utilizar resíduos industriais perigosos na busca de elementos considerados essenciais às plantas, com o intuito de reduzir os custos de produção; porém, várias pesquisas vêm sendo realizadas a fim de esclarecer o risco que essa prática apresenta, uma vez que, além de apresentarem os elementos comerciais em questão, trazem consigo, em sua composição, metais tóxicos, como Cd, cromo (Cr) e Pb, que são depositados em grandes quantidades nos solos (NACKE et al., 2013a; GONÇALVES Jr. et al., 2014).

1.3 Efeitos do Pb nos organismos vivos

Segundo Alloway (1995), as plantas podem absorver os metais de acordo com a disponibilidade, que é variável conforme as concentrações e a especiação no solo, o coeficiente de movimentação do elemento entre a solução do solo e a superfície da raiz, o transporte entre a superfície da raiz para os vasos condutores, e, por último, a translocação para as outras partes da planta.

Ao entrar em contato com as plantas, o Pb pode alterar a germinação, a suscetibilidade à seca e os processos vitais, como a fotossíntese, a mitose, a absorção de água, os distúrbios nutricionais, a permeabilidade das membranas celulares, além da inibição da respiração (PAIVA, 2000; SOARES et al., 2001).

Quanto a esse mecanismo de transferência, Chaney (1980) agrupou os elementos químicos em categorias, de acordo com o comportamento e a possibilidade de absorção pelas plantas. O Pb encontra-se no grupo de elementos que podem ser absorvidos pelas raízes, mas não são translocados para a parte aérea, em quantidades suficientes para causar risco de transferência na cadeia trófica.

Apesar disso, diversos estudos constataram a presença de Pb em elevadas quantidades em todos os tecidos da planta - incluindo-se a parte aérea - e até mesmo em grãos ou em outras partes destinadas ao consumo processado, até mesmo ao consumo *in natura* (SILVA, VITTI & TREVI-ZAN, 2007; SILVA & VITTI, 2008, NACKE et al., 2013a).

Ao considerarmos a poluição hídrica, devemos observar que ela abrange fenômenos relacionados à introdução de qualquer matéria ou ener-

gia que venha a alterar as propriedades do corpo d'água que foi poluído (MARAGON et al., 2005).

A atenção destinada a essa poluição deve ser dobrada ao verificar-se que, no Brasil, o Sistema Único de Saúde - SUS - apresentou dados informando que, nos últimos anos, cerca de 80% das internações hospitalares são decorrentes de doenças causadas pela qualidade imprópria da água para consumo humano (ABRASCO, 2014).

Mesmo quando não estão em contato direto com o poluente, os corpos d'água tornam-se grandes depósitos de Pb pelo fato de rios e córregos atravessarem áreas agrícolas onde pesticidas e fungicidas são utilizados em larga escala e de, a partir de sua movimentação horizontal através dos leitos, serem transportados ao longo do seu curso, levando consigo essas substâncias indesejadas (OKOYE et al., 2010).

Esse contato entre o Pb e seres humanos ocorre, geralmente, por via oral ou respiratória (MONTEIRO, 2009). Quando em grandes concentrações no corpo humano, o Pb pode causar distúrbios em, praticamente, todas as partes do organismo; contudo, tem como principal alvo afetado o sistema nervoso central, tanto em adultos quanto em crianças, além de afetar o sangue e os rins, ocasionando a morte. Quando a concentração é em doses menores, processos vitais também são comprometidos, como alterações na pressão arterial, produção de hemoglobina, especialmente em pessoas de meia-idade e idosos, causando anemia e processos bioquímicos cerebrais, além de alterações psicológicas e comportamentais, sendo a diminuição da inteligência um dos seus efeitos (ATSDR, 2007; CDC, 2012).

2 LIMITES À CONTAMINAÇÃO - PRINCÍPIOS E LEGISLAÇÃO

A intensa ação antrópica que visa a buscar, por meio da industrialização, formas mais fáceis de suprir as necessidades da humanidade, gera, ao mesmo tempo, incontáveis volumes de resíduos responsáveis pela grande quantidade de metais dispersos no meio ambiente, entre eles o Pb, elemento considerado um dos maiores poluentes (ALVES et al., 2008). Essas ações, segundo o filósofo inglês Thomas Hobbes (2001), na sua obra *Leviatã*, colocam o homem no posto de predador de si mesmo.

Na segunda metade do século passado mudanças significativas na temática ambiental foram apresentadas por um movimento global, representado, por exemplo, pela *Conferência das Nações Unidas sobre o*

Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972, e pela outra realizada no Rio de Janeiro, em 1992.

Esse cenário fez surgir na seara jurídica o Direito Ambiental, um ramo novo e essencial que se dedica ao estudo das questões normativas que envolvem o ser humano e o meio em que ele vive. Esse moderno ramo do Direito é permeado de princípios, que formam o arcabouço protetor do meio ambiente. Novas normativas se apresentaram no final do século passado, inovando a forma de proteger o meio ambiente. No Brasil, a Lei Federal n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, instituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente - SNMA -, formado pela União, pelos Estados e Municípios. Essa lei definiu, entre outros, o conceito de degradação ambiental como sendo a alteração adversa das características do meio ambiente, e o de poluição, que é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividade que, direta ou indiretamente, prejudica a saúde, a segurança e o bem-estar da população.

A instituição de novas leis iniciou a formação de um direito ambiental, um ordenamento dinâmico com o fim de dar proteção ao meio ambiente e de concretizar um consciência em torno da necessidade de garantir qualidade de vida a todos.

O Direito Ambiental se fortalece pelas inovações constitucionais, naquilo que diz respeito ao meio ambiente e à sua proteção jurídica. A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 - CR/88 - trouxe imensas novidades em relação às cartas constitucionais que a antecederam (ANTUNES, 2007). Entre os dispositivos inovadores que tutelam o meio ambiente, a CR/88 apresenta, em seu art. 225, aquele que é o cerne principal de proteção: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Das determinações constitucionais decorrem, conforme Machado (2001), os princípios gerais do Direito Ambiental: o princípio do direito à sadia qualidade de vida; o princípio do acesso equitativo aos recursos naturais; os princípios usuário-pagador e poluidor-pagador; o princípio da precaução; o princípio da prevenção; o princípio da reparação; e o princípio da informação, entre outros.

Ainda se admite o princípio do limite segundo qual a administração pública deve estabelecer padrões de qualidade ambiental, limitando a emissão de poluentes. (BECHARA *apud* IRIGARAY & ANTUNES,

2007).

Antunes (2005) afirma que a aplicação de tal princípio ocorre com o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental concretizados na forma de limites de emissões de partículas, de limites aceitáveis de presença de determinadas substâncias na água, etc. O princípio do limite é fundamentado pelas disposições do inciso V do §1º do art. 225 da CR/88.

Para poder regulamentar as ações humanas que interferem no meio ambiente, a Lei n. 6.938/81 definiu, em seu art. 8º, inciso VII, a competência legal do CONAMA para estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos. Essa é, pois, a expressão máxima do princípio do limite delegado àquele órgão.

Mais especificamente no que tange à contaminação do solo, a Resolução n. 420 de 2009, do CONAMA (Brasil 2009), tem por objetivo estabelecer critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, entre elas os metais tóxicos. Essa resolução estabelece três categorias de valores orientadores, que são: o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), que é a concentração de determinada substância, que irá definir a qualidade natural do solo, baseada em estudos prévios para cada estado brasileiro; o Valor de Prevenção (VP), que se refere à concentração de valor-limite de determinada substância no solo; e o Valor de investigação (VI), que é a concentração de determinada substância no solo, da qual decorrem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. A Tabela 1 apresenta os valores prevenção e investigação estabelecidos para Pb em solos.

Tabela 1. Valores orientadores para a presença de metais tóxicos em solos brasileiros, de acordo com a Resolução n. 420 de 2009, do CONAMA (Brasil, 2009)

VP (mg kg-1)	VI (mg kg-1)		
	Área agrícola	Residencial	Industrial
72	180	300	900

VP: Valores de Prevenção; VI: Valor de Investigação.

Fonte: Resolução n. 420 de 2009, do CONAMA

Para efeitos comparativos, a Tabela 2 apresenta os teores internacionais máximos permitidos para Pb em solos de diversos locais, o que demonstra uma certa preocupação de diversos países no mundo quanto à contaminação por metais.

Tabela 2.

Valores máximos permitidos (VMP) de Pb no solo de alguns países

Países	(*) Comunidade Européia	(**)Estados Unidos	(**)Polonia (1977 – 1993)	(**)Alemanha (1984 – 1992)	(**)Reino Unido	(**)Austria
VMP (mg kg-1)	50-300	50-300	70-150	100	500-2000	100

Fonte: (*)Council Directive (1986); (**)Kabata-pendias & Pendias (2001);

No caso do Brasil, a Resolução n. 420/09 do CONAMA está sendo seriamente questionada por autoridades e pesquisadores, uma vez que apresenta vários equívocos que ferem princípios constitucionais, como o do limite, ou mesmo o princípio da prevenção, no que tange à “preservação, à melhoria e à recuperação da qualidade ambiental propícia à vida”, permitindo a prática da contaminação, mesmo sob o manto de valores permitidos, mas sem terem sido estabelecidos após um debate científico exaustivo.

Com relação às normas vigentes referentes às qualidades das águas, têm-se a Resolução n. 357/2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e sobre diretrizes ambientais e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Em 2004, o Ministério da Saúde editou a Portaria n. 518/2004, que estabelecia os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Em ambos os casos, a normas atribuem limites para a presença de metais tóxicos nos recursos hídricos brasileiros e determinam valores máximos permitidos (VMP) das concentrações para os metais, entre eles o Pb.

De acordo com a Tabela 3, podem-se comparar os valores máximos permitidos entre a Resolução n. 357/2005 do CONAMA e a Portaria n. 518/2004, do Ministério da Saúde.

Tabela 3. Valores máximos permitidos (VMP) de Pb.

Legislação	Padrão Referente	Limite (mg L-1)
CONAMA nº 357 (2005)	Águas Doces	0,033
Portaria nº 518 M.S. (2004)	Potabilidade	0,01
CONAMA nº 430 (2011)	Lançamentos de efluentes	0,50

Fonte: Resoluções n. 357/2005 e 430/2011 do CONAMA e Portaria n. 518 do MS.

A Portaria n. 518 foi revogada pela Portaria n. 2.914 do Ministério da Saúde, publicada no Diário Oficial da União, em 14 de dezembro de 2011. Esta portaria estabelece um prazo máximo de vinte e quatro meses para que os órgãos e entidades sujeitos à sua aplicação promovam as adequações necessárias; contudo, a Portaria n. 2.914 não altera os VMP para os metais em estudo (BRASIL, 2011a). Em outro caso, a Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011, também foi estabelecida, objetivando alterar parcialmente e complementar a Resolução n. 357 do CONAMA. Neste caso, a Resolução n. 430 do CONAMA não substitui os padrões de potabilidade para águas de classe 3 (BRASIL, 2011b).

As normas orientadoras dos valores-limites de contaminação sob aspectos específicos necessitam de maior discussão científica no que tange às suas consequências ao meio ambiente e aos seres humanos.

A fiscalização deve ser observada como forma de conter o avanço da degradação ambiental, efeito do lançamento de metais pesados. Todavia, essa ação fiscalizatória deve ser de maneira eficiente, buscando economia e sustentabilidade.

3 CONTAMINAÇÃO POR PB E RELATOS DE CASOS

Nas cadeias tróficas existe uma especificidade entre os metais, inclusive para o Pb; esses elementos reagem com ligantes difusores que, ao adentrar o corpo humano, têm sua distribuição atribuída a essas ligações ou a ligantes presentes nas membranas; e estes, principalmente, atribuem às características de bioacumulação e biomagnificação, na cadeia alimentar, biopersistência e elevada toxicidade aos organismos vivos (TA-

VARES & CARVALHO, 1992).

Como biomagnificação, podemos citar o exemplo do Pb: mesmo em concentrações reduzidas, seus cátions entram em contato com o meio receptor, sofrendo o efeito de amplificação biológica (ARAYA, GROHNERT & PIZARRO, 2009). Essa amplificação ocorre a partir do momento em que o metal é depositado nos tecidos dos componentes desses meios, onde passam, então, a integrar o ciclo metabólico dos organismos vivos, sendo neles armazenados; e, em consequência, seus efeitos de toxicidade são extraordinariamente ampliados nos tecidos dos seres vivos ao longo da cadeia alimentar do ecossistema.

A bioacumulação, por sua vez, trata sobre o acréscimo dos níveis dos contaminantes ao longo da cadeia trófica. Sendo assim, à medida que há elevação no nível trófico, maior será a quantidade dos contaminantes acumulados no ser vivo, uma vez que este, para além dos compostos que seu organismo já absorveu, vai ainda concentrar os que provêm da alimentação (TAVAREZ & CARVALHO, 1992).

Entre esses casos de contaminação por Pb, podem-se citar dois casos relatados no nosso País (DI GUILIO et al., 2012), em Santo Amaro da Purificação, no Nordeste, e em Adrianópolis, na Região Sul. Em ambos os casos, pessoas vivem em áreas contaminadas, em um passivo ambiental decorrente de atividades industriais e de mineração durante décadas, levando toda a população à exposição por Pb de forma inconsistente com os padrões ambientais e de mineração, com pouco controle dos impactos no meio ambiente e, em decorrência disso, na saúde humana.

Em ambos os casos, pessoas sofrem seriamente com problemas oriundos da exposição ao Pb; porém devido ao comportamento da sociedade, preferem negar o problema, uma vez que a maioria é vista de maneira pejorativa (DI GUILIO et al., 2012).

Ao avaliar os efeitos no desempenho escolar de crianças e adolescentes, de acordo com os níveis de contaminação, Pereira & Rodrigues (2013) encontraram os efeitos deletérios da contaminação por Pb, uma vez que as pessoas com elevados níveis de contaminação apresentaram desempenho muito inferior aos demais participantes da pesquisa. Além disso, as crianças apresentaram desempenho inferior ao esperado em sua escolaridade atual.

Dessa forma, além dos aspectos ambientais, a qualidade de vida das pessoas afetadas por Pb são alteradas, causando efeitos ao longo da vida, devido, principalmente, à aceitação perante a sociedade.

4 MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO DE COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS

Com essa quantidade de Pb sendo liberada no ambiente constantemente, métodos de recuperação de áreas contaminadas já foram desenvolvidos. Como exemplo, temos o tratamento de águas industriais, a escavação, a incineração e a remoção física de poluentes e os filtros para fumaça, entre outros; porém, como a maioria desses métodos são altamente onerosos e demandam alta tecnologia, muitas vezes seu uso fica restrito apenas a países desenvolvidos ou a grandes corporações (PILON-SMITS, 2005).

Essa técnica de fitorremediação consiste no uso de plantas para remoção ou estabilização de contaminantes por meio de processos físicos e químicos de ocorrência natural nas próprias plantas (GRATÃO et al., 2005; GONÇALVES Jr. et al., 2014). Além disso, a fitorremediação apresenta como vantagens o baixo custo, a melhoria visual do ambiente a ser tratado, o reduzido impacto ambiental, o fácil manuseio e controle das plantas empregadas, a possibilidade de utilizar culturas que possuem sistemas de cultivos mecanizados; e, posteriormente à colheita, pode ser realizada a reciclagem dos materiais (LAMEGO & VIDAL, 2007).

Quanto à fitorremediação de Pb, entende-se como fitorremediadora uma planta que acumule, no mínimo, 1 mg kg^{-1} (RASKIN et al., 1994).

De acordo com Gonçalves Jr. et al. (2014), a fitorremediação pode ser dividida em 5 processos distintos: a fitoextração (hiperacumulação), a fitoestabilização, a rizofiltração, a fitotransformação e a efitovolatilização.

A técnica de fitoextração aplica-se, basicamente, pelo uso de plantas hiperacumuladoras e, geralmente, transgênicas, por meio da absorção pelas raízes, para posterior translocação e deposição nos tecidos da parte aérea, para posterior remoção da área contaminada (GONÇALVES Jr. et al., 2014). Diferente da fitoextração, a fitoestabilização não remove o contaminante do ambiente, mas apenas trabalha na estabilização e imobilização, reduzindo assim sua mobilidade dentro dos sistemas, impedindo sua dispersão e alterando a sua biodisponibilidade para outros organismos (SCHNOOR, 2002; GONÇALVES Jr. et al., 2014).

Pouco menos utilizada, a rizofiltração consiste na utilização de

plantas com o objetivo de absorver, filtrar ou reduzir os níveis dos elementos contaminantes no solo, principalmente metais pesados e pesticidas, utilizando, basicamente, o sistema radicular (RAI, 2009).

A fitotransformação está relacionada com o uso de plantas capazes de submeter os contaminantes a processos de bioconversão, que são capazes de degradar poluentes orgânicos, transformando-os em moléculas simples, de baixa toxicidade, e que, em alguns casos, podem até ser utilizadas pelas próprias plantas em seu desenvolvimento (GONÇALVES Jr. et al., 2014).

No processo de fitovolatilização, a planta executa a função de intermediário entre o solo e a atmosfera e executa a remoção dos poluentes por meio da biodegradação na rizosfera; esse composto é translocado pelos vasos condutores, que, então, são liberados pela superfície das folhas nos processos de respiração (GONÇALVES Jr. et al., 2014).

Outro meio de remediação utilizado principalmente em corpos hídricos, a adsorção consiste na retenção seletiva de moléculas por quelação, por troca iônica ou por microprecipitação nos sítios de ligação presentes nos adsorventes, tornando estes indisponíveis para plantas ou organismos vivos. Entre os métodos convencionais para descontaminação, a adsorção é considerada um processo de grande eficiência (NACKE et al., 2013b).

A adsorção pode ser utilizada em compostos orgânicos e inorgânicos e apresenta grande viabilidade quando comparada a outros mecanismos, devido, principalmente, à sua elevada capacidade adsorptiva, ao baixo custo e à alta relação custo-benefício (SCHWANTES et al., 2013)

4.1 Alternativas de fitorremediação de compartimentos ambientais contaminados por Pb

Diversos trabalhos foram elaborados para verificar a eficiência de espécies vegetais na remediação de Pb. Boonyapookana et al., (2005), trabalhando com três espécies de girassol (*Helianthus annuus*), de tabaco (*Nicotiana tabacum*) e de capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), demonstrou o potencial que essas espécies apresentam como fitoextratoras, uma vez que todas elas apresentaram elevados teores de Pb concentrados em folhas e caules. Porém, para a remediação de Pb, os autores destacaram principalmente o *H. annuus*, devido ao fato de esse atender aos requisitos necessários de plantas apresentados anteriormente neste capítulo.

Outros autores (PRASAD & FREITAS, 2003), também verificaram a eficiência das plantas de girassol para a extração de Pb em solos contaminados, chegando a acumular até 5 g kg^{-1} de Pb na matéria seca. Além desse destaque, esses autores também comprovaram a eficiência da mostarda indiana (*Brassica juncea*) como uma das espécies mais estudadas e de sucesso na fitoextração de áreas contaminadas (SCHIMIDT, 2003).

Alguns resultados chamam a atenção devido, principalmente, às principais finalidades das plantas fitorremediadoras, sendo a ervilha (*Pisum sativum*) e o milho (*Zea mays*) muito eficientes para a remoção de Pb (PRASSAD & FREITAS, 2003). Tassi et al. (2003) encontraram a concentração em cerca de 3 mg kg^{-1} de Pb na parte aérea do milho.

Plantas de mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), apesar de não extraírem grandes quantidades de Pb do solo para ser consideradas fitoextratoras, desenvolvem-se em ambientes altamente contaminados, e devido a propriedades associativas com micorrizas e outros microrganismos, podem ser classificadas como fitoestabilizadoras (SOUZA et al., 2011).

Trabalhando com plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) Romeiro et al. (2007), observaram concentrações de até 112 mg kg^{-1} de Pb nos tecidos das plantas, quando cultivadas em soluções contaminadas, assim como Freire (2005), que encontrou nos tecidos da espécie *Melissa officinalis* concentrações entre 1,4 a $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Pb em suas folhas. Esses autores inferiram, assim, que essas plantas, além de apresentarem elevada tolerância ao metal, ainda apresentam excelentes características extratoras de Pb.

A tabela 1 apresenta algumas culturas em ambientes contaminados com Pb, os respectivos níveis de Pb nos solos e presentes nos tecidos da parte aérea, representando a possibilidade de uso na remediação desses ambientes por meio da fitoextração.

Tabela 4. Concentração de Pb na parte aérea de algumas espécies cultivadas sob diferentes níveis de Pb no solo.

Cultura	Pb no solo (mg kg ⁻¹)	Pb nos tecidos (mg kg ⁻¹)	Referência
Milho	2.500	100	HUANG et al., (1997)
Ervilha	2.500	100	HUANG et al., (1997)
Repolho	10.600	126	SHEN et al., (2002)
Trigo	10.600	80	SHEN et al., (2002)
Mostarda Indiana	550	13	TASSI et al., (2003)
	600	2	BLAYLOCK et al., (1997)
Tremoço branco	550	8	TASSI et al., (2003)
Nabo	1.110	100	LESTAN & GRCMAN, (2002)

Fonte: Pereira (2005).

Além desses resultados, diversas espécies também merecem destaque, devido ao potencial que apresentam na fitoextração, como a grama alpina (*Thlaspi caerulescens*) (COSIO et al., 2004), a grama estreita (*Thlaspi rotundifolium*) (PRASAD & FREITAS, 2003), espécies do gênero *Euphorbia* (MALAYERI, et al., 2005) e o capim vetiver ou de cheiro (*Chrysopogon zizanioides*) (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000).

Em meio aquático, a fitorremediação pode ser estabelecida, uma vez que plantas aquáticas também podem realizar essas reações, principalmente por meio da fitoextração, da qual elas retiram os contaminantes da água e os alojam em seus tecidos (GONÇALVES, Jr., SELZLEIN & NACKE, 2009).

Estudos recentes indicam que biomassas de macrófitas aquáticas, tais como a *Potamogeton lucens*, *Salvinia* sp. e a *Eichornia crassipes*, têm alta capacidade de acumular íons metálicos; esses materiais apresentam uma extensa funcionalidade, visto que podem suportar

vários ciclos de sorção e dessorção e podem ser usados em processos similares aos utilizados para carvão ativado e resinas de troca iônica para os corpos hídricos (GONÇALVES Jr. et al., 2008).

Entre todas essas espécies, o aguapé (*Eichornia crassipes*) vem apresentando resultados satisfatórios na remediação de Pb, sendo encontrados valores de até 248 $\mu\text{g g}^{-1}$ quando cultivadas em ambientes contaminados (GONÇALVES, Jr., SELZLEIN & NACKE, 2009; SILVA et al., 2014).

4.2 Adsorção em meios aquáticos contaminados com Pb

Várias metodologias são conhecidas para a descontaminação de corpos hídricos contaminados com metais pesados, destacando-se os processos físico-químicos de precipitação, a troca iônica, a extração por solventes e outros (JIMENEZ et al., 2004).

Entre esses, o uso de adsorventes naturais (biossorventes) tem sido incentivado em razão de sua alta disponibilidade e acessibilidade, e, ainda, de propriedades como eficiência e alta competitividade em relação às resinas de troca iônica e carvão ativado, podendo ser utilizados como adsorventes que promovem a retenção seletiva e reversível de cátions metálicos presentes nos efluentes industriais (SCHWANTES et al., 2013).

Entre os biossorventes, estão os micro-organismos e vegetais (casca, bagaço, semente), que apresentam a capacidade de acumular metais pesados, sendo que adsorventes como resíduos da indústria da mandioca (SCHWANTES et al., 2013), a casca de pinus (STREY et al., 2013), o pinhão manso (NACKE et al., 2013), assim como o uso da torta de Crambe (RUBIO, et al. 2013) e a torta de Moringa (MENEGHEL, et al. 20013), que, além de servirem como adsorventes, disponibilizam óleos para outras finalidades, representando uma fonte secundária de lucro e a melhoria do ambiente no qual vivemos e do qual somos dependentes.

CONCLUSÃO

A contaminação por Pb é algo comumente encontrado na atualidade, e diversos ramos industriais realizam processos que geram um passivo ambiental. A toxicidade do Pb, tanto para plantas como para animais e humanos, apresenta sérios riscos à saúde e ao desenvolvimento, ocorrendo inúmeros casos de contaminação, com danos inestimáveis aos envolvidos.

Fazendo-se uma comparação com a legislação internacional, observa-se que a atual legislação brasileira está aquém no que concerne ao estabelecimento de limites que estejam de acordo com o princípio constitucional do limite, pois ainda determina índices muito acima dos padrões de países considerados avançados no controle ambiental.

As normas legais relacionadas à fiscalização ainda oferecem brechas que representam permissividade e possibilidade de novas contaminações, sem que os causadores tenham suas ações consideradas como ilegais ou irregulares.

A despeito da legislação brasileira, no que tange à Resolução n. 420 do CONAMA, é fundamental evitar a contaminação; todavia, para as áreas já degradadas, há necessidade de pronta intervenção. Diante desse ditame legal, a proposta é a elaboração de planos de manejo para a fitorremediação de ambientes contaminados. A literatura mostra que a hipótese do uso de plantas na adsorção do Pb presente no solo e na água, como forma de remediação e redução dos níveis do metal, pode ser uma solução adequada aos problemas da contaminação.

Por fim, a necessidade de uma revisão na legislação é uma sugestão plausível, desde que seja discutida numa vertente técnica, aberta ao diálogo com a sociedade, sendo transparente o suficiente para que não exista manipulação daqueles que não estejam comprometidos com os ditames constitucionais do meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial à sadia qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva. *Qualidade- A água limpa está cada vez mais rara na Zona Costeira e a água de beber tratada está cada vez mais cara*. On-line, disponível em: <www.abrasco.org.br/UserFiles/.../Lia%20Augusto%2009-30.docx>. Acesso em: 14 fev. 2014.

ACCIOLY, Ana Maria de Aguiar; SIQUEIRA, José Oswaldo. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, Roberto Ferreira de; ALVAREZ Vitor Hugo; SCHAEFER, Carlos Ernesto Goncalves Reynaud. (Eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: SBCS, v.1, 2000.

ALLOWAY, Brian. J. *Heavy metals in soils*. 2 ed. New York: Blackie Aca-

demic & Professional, 1995, 368 p.

ALVARENGA, Paula; FERNANDES, Rosa Maria; VARENNES, Amarelis de; VALLINI, Giovanni; DUARTE, Elizabeth; CUNHA-QUEDA, Ana Cristina. Utilização de *Lolium Perenne* L. na fitoestabilização controlada de solos degradados por atividades mineiras. *Revista de Ciências Agrárias*. v. 34, n. 2, p.117-130, 2011.

ALVES, Jailson do Carmo; SOUZA, Adailson Pereira de; PÔRTO, Mônica Lima; ARRUDA, Jandeilson Alves de; JÚNIOR, Ubaldo Araújo Tompson; SILVA, Gilson Batista da; ARAÚJO, Raunira da Costa; SANTOS, Djail. A. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, juremínia e algaroba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.1329-1336, 2008.

ANDRADE, Maurício Gomes de; MELO, Vander de Freitas; GABARDO, Juarez; SOUZA, Luiz Cláudio de Paula; REISSMANN, Carlos Bruno. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - Fitoextração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33 n.6, p.1879-1888, 2009.

ANTUNES, Paulo de Bessa. *Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA*: (comentários à Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981). Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005. 229 p.

ANTUNES, Paulo de Bessa. *Direito ambiental*. 10. ed. rev. ampl. e atual. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2007. 988 p.

ARAYA, M.; GROHNERT, M. O.; PIZARRO, F. *Cobre: Saúde, desenvolvimento e novas tecnologias*. 2009, 126 p.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *CERCLA priority list of hazardous substances*. Atlanta, GA: U.S Department of Public Health and Human Services, Public Health Service, 2005.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *Toxicological Profile for lead*. Atlanta, GA: U.S Department of Public Health and Human Services, Public Health Service, 2007. 20 p.

BECHARA, Erika. *Uma contribuição ao aprimoramento do instituto da*

compensação ambiental previsto na Lei 9.985/2000. Tese de Doutorado em Direito. PUC-SP, 2007. P. 352.

BLAYLOCK, Michael. J.; SALT, David. E.; DUSHENKOV, Slavik; ZAKHAROVA, Olga; GUSSMAN, Christopher; KAPULNIK, Yoram; ENSLEY, Burt. D.; RASKIN, Ilya. Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelation agents. *Environmental Science Technology*, v.31, p. 860-865, 1997.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. *Química Nova na Escola*, v.11, p. 3-9, 2000.

BOONYAPOOKANA, Benjaporn; PARKPIAN, Preeda; TECHAPINYAWAT, Sombun; DELAUNE, Ronald D.; JUGSUJINDA, Aroon J. Phyto accumulation of lead by sunflower (*Helianthus annuus*), tobacco (*Nicotiana tabacum*), and vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *Environmental Science Health A Toxic Hazard Substances Environmental Engineer*, v. 40, n.1, p.117-37, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 1.469*, Brasília, DF, 2000, 39p.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 2.194*, Brasília, DF, 2011a, 33p.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 518*, Brasília, DF, 2004. 28 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução n. 20*, Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução n. 357*, Brasília, DF, 2005, 23p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução n. 430*. Brasília, DF, 2011b, 8p.

BRASIL. *Resolução*. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial, 30 dez. 2009, p. 81-84.

CDC – Centers for Disease Control and Prevention. *LEAD*. 2012. Disponível em <<http://www.cdc.gov/niosh/topics/lead/>>. Acesso em: 14 fev.

2014.

CUNNINGHAM, Scott. D.; ANDERSON, Todd. A.; SCHWAB, A. Paul; F.C. HSU. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Adv. Agron.*, v. 56, p. 55-114, 1996.

CHANEY, Rufus. L. Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. In: BITTON, Gabriel. et al. (Ed.). *Sludge health risks of land application*. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1980, p. 59-83.

COSIO, Claudia; MARTINOIA, Enrico; KELLER, Catherine. Hyperaccumulation of heavy metal in *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* at the leaf cellular level. *Plant Physiology*, v.134, p.716 -725, 2004.

DI GIULIO, Gabriela Marques; FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro; FERREIRA, Lúcia da Costa; ANJOS, José Ângelo Sebastião Araújo Dos. Experiências brasileiras e o debate sobre comunicação e governança do risco em áreas contaminadas por chumbo. *Ciência saúde coletiva*, v.17, n. 2, p. 337-349, 2012.

FERNANDES, Josely Dantas; DANTAS, Edilma Rodrigues Bento; BARBOSA, Juliana Nóbrega; BARBOSA, Edimar Alves. Estudo de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v.7, n.1, p. 231-255, 2011.

FREIRE, Márcia de Fátima Inácio. Metais pesados e plantas medicinais. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 1, p. 4-8, 2005.

GERHARDT, Karen. E.; XIAO-DONG, Huang; GLICK Bernard. R.; GREENBERG, Bruce. M. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges. *Plant Science*, v. 176, p. 20-30, 2009.

GONÇALVES Jr., Affonso Celso; NACKE, Herbert; SCHWANTES, Daniel; COELHO, Gustavo Ferreira. Heavy Metal Contamination in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers. In: HERNANDEZ-SORIANO, Maria. C. (Ed.). *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. Ed. Intech Open, 2014.

GONÇALVES JUNIOR, Affonso Celso; LINDINO, Cleber Antonio;

ROSA, Mauricio Ferreira da; BARICCATTI, Reinaldo; GOMES, Gilmar Divino. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando a macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, n. 1, p. 914, 2008.

GONÇALVES, Jr. Afonso Celso; SELZLEIN Claudemir; NACKE Herbert. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando à remoção de metais pesados de soluções contaminadas. *Acta Scientiarum Technology*, v. 31, p. 103-108, 2009.

GRATÃO, Priscila Lupino; PRASAD, Majeti Narasimha Vara; CARDOSO, Patrícia. Felipe; LEA Peter John.; AZEVEDO Ricardo Antunes. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.17, n. 1, p. 53-64, 2005.

HOBBS, Thomas. *Leviatã*. São Paulo: Martin Claret, 2001.

HUANG, Jianwei W.; CHEN, Jianjun; BERTI, Willian R.; CUNNINGHAM, Scott D. Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead hytoextraction. *Enviromental Science Technology*, v. 31, p. 800-805, 1997.

IAB - Instituto Aço Brasil. *Número de mercado - Estatísticas*. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>>. Acesso em: 4 abr. 2014.

IISI - International Iron and Steel Institute. *The management of steel plant ferruginous by products*. Brussels: IISI, 1994. 50p.

KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. *Trace elements in soil and plants*. 3 rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 403 p.

LAMEGO, Fabiane Pinto; VIDAL, Ribas Antônio; Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? *Pesticidas: Revista ecotoxicologia e meio ambiente*, v. 17, n. 1, p. 9-18, 2007.

LESTAN, Domen; GRGMAN, Helena. Chelateenhanced Pb phytoextraction: plantuptake, leachingandtoxicity. *WCSS*, Thailand, 2002.

MACHADO, Paulo Afonso Leme. *Direito ambiental brasileiro*. 9. ed. São Paulo: Malheiros, 2001.

MALAYERI Behrouz E.; CHEHREGANI Abdolkarim, MOHSENZADEH Fariba; GOLMOHAMMADI, Roghayeh. Effect of heavy metals on the development stages of ovule and embryonic sac in *Euphorbia cheiradenia*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, v. 8, p. 622- 625, 2005.

MARAGON, Maristela; PRESZNHUK, Rosélis; SORDI, Raquel. Franco; AGUDELO, Libia Patricia Peralta. Indicadores de sustentabilidade como instrumento para avaliação de comunidades em crise: aplicação à comunidade de serra negra. *Revista de Educação e Tecnologia*, 2005. 23p.

MENEGHEL, Ana Paula; GONÇALVES Jr., Affonso Celso; TARLEY, César Ricardo; STANGARLIN, José Renato; RUBIO, Fernanda; NACKE, Herbert. Studies of Pb adsorption by Lam. seeds from an aqueous medium in a batch system. *Water Science and Technology*, v. 69, p. 163-169, 2014.

MME - Ministério de Minas e Energias. *Cadeia do CHUMBO*. Relatório Técnico 66. 30 p.

MONTEIRO, Mauricio Filho. Lixo tóxico vira matéria prima. *Repórter Brasil*, São Paulo, 17 outubro 2005. Disponível em <<http://www.reporter-brasil.com.br/exibe.php?id=171>> Acesso em 5 fev. 2014.

MONTEIRO, Raquel Almeida. *Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco*. 2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2009. 86 p.

NACKE, Herbert; GONÇALVES Jr., Affonso Celso; COELHO, Gustavo Ferreira; STREY, Leonardo; LAUFER, Angela. Renewable energy technologies: Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption on *Jatropha* biomass. In: BARTOLO, Helena; DUARTE, José Pinto. (Org.). *Green Design, Materials and Manufacturing Processes*. 1ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, v. p. 367-372.

NACKE, Herbert; GONÇALVES Jr., Affonso Celso; SCHWANTES, Daniel; COELHO, Gustavo Ferreira; SILVA, Marcos Rivail; PINHEIRO, Adilson. Use of *Jatropha curcas* biomass for adsorption of glyphosate in water. In: BARTOLO, Helena Maria; DUARTE, José Pinto. (Org.). *Green Design, Materials and Manufacturing Processes*. Ed. CRC Press - Balke-

ma, 2013b. p. 361-367.

OKOYE, Amalachukwufeyinwa; EJKEME, Paul. Madus; ONUKWALI, O. D. Lead removal from wastewater using fluted pumpkin seed shell active carbon: Adsorption modeling and kinetics. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v.7, n. 4, p.793800, 2010.

PAIVA, Haroldo Nogueira de. *Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de Cedro (Cedrela fissilis Vell.) e Ipê-roxo (Tabebuia impetiginosa (Mart.) Standl.)*. Tese de Doutorado em Agronomia. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000.

PAOLIELLO, Monica Maria Bastos. *Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos*. Cadernos de referência ambiental; v. 3. Salvador: CRA, 2001. 144 p.

PASEL, C.; WANZL, W. Experimental investigations on reactor scale-up and optimization of product quality in pyrolysis of shredder waste. *Fuel Processing Technology*, v. 80, n. 1, p. 47-67, 2003.

PENHA, Henrique Gualberto Vilela. *Teores e coeficientes de distribuição de elementos-traço em latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos*. 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2011.

PEREIRA, Bruno Fernando Faria. *Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de-porco, girassol e milho cultivadas em Latossolo vermelho contaminado com chumbo*. Dissertação de mestrado em agronomia, IAC, Campinas - SP, 2005. 89 p.

PEREIRA, Veronica Aparecida; RODRIGUES, Olga Maria Piazzentin Rolim. Contaminação crônica por chumbo e implicações no desempenho escolar. *Psico*, v. 44, n. 4, p.571-580, 2013.

PILON-SMITS, Elizabeth. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, v. 56, p. 15-39, 2005.

PRASAD, Majeti Narasimha Vara; FREITAS, Helena Maria de Oliveira. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, v. 6, n. 3, p. 285-231, 2003.

RAI, Prabhat Kumar. Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 39, n. 697-753, 2009.

RASKIN, Ilya.; KUMAR, P. B. A. Nanda; DUSHENKOV, Slavik; SALT, David E. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current opinions in Biotechnology*, v. 5, p. 285-290, 1994.

RECKZIEGEL, Viviana Nedel. *Caracterização para o aproveitamento do resíduo de um triturador de sucata em uma indústria siderúrgica*. 2012. Dissertação (Mestrado em Eng Minas Metalúrgica e Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS. 2012. 80 p.

ROMEIRO, Solange; LAGÔA, Ana Maria Magalhães Andrade; FURLANI, Pedro Roberto; ABREU, Cleide Aparecida De; PEREIRA, Bruno Fernando Faria. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes*. *Bragantia*, v. 66, n. 2, p. 327-334, 2007.

RUBIO, Fernanda; GONÇALVES Jr., Affonso Celso; STREY, Leonardo; MENEGHEL, Ana Paula; COELHO, Gustavo Ferreira; NACKE, Herbert. Applicability of *Crambe abyssinica* Hochst byproduct as biosorbent in the removal of chromium from water. *Spanish Journal of Rural Development*, v. 4, p. 25-40, 2013.

SANTOS, Thamires Jacob dos; ZAMPIERON, Sonia Lucia Modesto; ZAMPIERON, João Vicente. Biomonitoramento do chumbo, via espectroscopia por energia dispersiva, em plantas medicinais. *Revista Agrogeoambiental*, v. 5, n. 1, p. 27-36, abr. 2013.

SCHMIDT, Ulrich. Enhancing phytoremediation: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. *Journal Environmental Quality*, v. 32, p. 1939-1954, 2003.

SCHNOOR, Jerald. L. *Phytoremediation of soils and groundwater*. Groundwater Remediation technologies Analysis Center, 2002.

SCHWANTES, Daniel, GONÇALVES Jr., Affonso Celso, COELHO, Gustavo Ferreira; CASARIN, Juliana; STANGARLIN, José Renato; PINHEIRO, Adilson. Reuse and recycling techniques: Equilibrium of the adsorption process of Glyphosate using wastes from the cassava industry. In: *Green Design, Materials and Manufacturing Processes*. 1.ed. Boca Ra-

ton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, p. 423-428.

SHEN, Zhen-Guo; LI, Xiang-Dong; WANG, Chun-Chun; CHEN, Huai-Man; CHUA, Hong. Lead phytoextraction from contaminated soil with high-biomass plant species. *Journal of Environmental Quality*, v. 31, p.1893-1900, 2002.

SILVA, Alinne Dué Ramos da; SANTOS, Robson Batista dos; BRUNO, Arthur Murilo da Silva Souza; GENTELINI, André Luis; SILVA, Ana Helena Gomes da; SOARES Emerson Carlos. Eficiência do aguapé sobre variáveis limnológicas em canais de abastecimento utilizados no cultivo de tambaqui. *Acta Amazonia*, v. 44, n. 2, p. 255-262, 2014.

SILVA, Maria Ligia de Souza; VITTI, Godofredo Cesar. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. *Química Nova*, v. 31, n. 6, p. 1385-1391, 2008.

SILVA, Maria Ligia de Souza; VITTI, Godofredo Cesar; TREVIZAM, Anderson Ricardo. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 4, p. 527-535, 2007.

SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa; ACCIOLY, Adriana Maria De Aguiar; MARQUES, Teresa Cristina Lara Lanza De Sá e Melo; SIQUEIRA, José Oswaldo; MOREIRA, Fátima Maria Souza. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.13, p. 302-315, 2001.

SOUZA, Lucas Anjos de; ANDRADE, Sara Adrián López de; SOUZA, Sarah Caroline Ribeiro de; SCHIAVINATO, Marlene Aparecida. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p. 1441-1451, 2011.

STREY, Leonardo; GONÇALVES Jr., Afonso Celso; SCHWANTES, Daniel; COELHO, Gustavo Ferreira; NACKE, Herbert; DRAGUNSKI, Douglas Cardoso. Reuse and recycling techniques: Kinetics, equilibrium and thermodynamics of cadmium adsorption by a biosorbent from the bark of

Pinuselliottii. In: BARTOLO, Helena; DUARTE, José Pinto. (Org.). *Green Design, Materials and Manufacturing Processes*. 1ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, 1 Edcion, p. 433-436.

TARLEY, César Ricardo Teixeira; ARRUDA, Marco Aurélio Zezz. Adsorventes naturais: potencialidades e aplicações da esponja natural (*Luffacylindrica*) na remoção de chumbo em efluentes de laboratório. *Revista Analytica*, n. 4, p. 25-31, 2003.

TASSI, Eliana; BARBAFIERI, Meri; RIZZI, Laura; PETRUZZELLI, Giannantonio. Phyto extraction of Pband As by *Lupinus albus* and *Brassica juncea* in microcosm tests. *Workshop "Phyto remediation of toxic metals"*. Stockholm, Sweden, 2003. 2 p.

TAVARES, Tania Mascarenhas; CARVALHO, Fernando Martins. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: Exemplo do Recôncavo Baiano. *Química Nova*, v. 15, n. 2, p. 147-154, 1992.

ZHANG, GanLin; YANG, Feng-Gen; ZHAO, Yu-Guo; ZHAO, Wen-Jun; YANG, Jin-Ling; GONG, Zi-Tong. Historical change of heavy metals in urban soils of Nanjing, China during the past 20 centuries. *Environment International*, v. 31, p. 913-919, 2005.

Artigo recebido em: 21/09/2015.

Artigo aceito em: 13/11/2015.