



Estudo de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido

Josely Dantas Fernandes¹
Edilma Rodrigues Bento Dantas²
Juliana Nóbrega Barbosa³
Edimar Alves Barbosa⁴

Resumo

A ocorrência de solos contaminados com o elemento chumbo está se tornando cada vez mais comum. Ele é, essencialmente, um contaminante ambiental e suas concentrações no meio ambiente vem aumentando de acordo com a aplicação sempre crescente em diversos produtos industriais necessários à sociedade moderna. Hoje, usa-se o chumbo, por exemplo, na fabricação de canos, em revestimentos de cabos elétricos, de chapas para pias, cisternas e telhados e, principalmente, na indústria de baterias automotivas, fato que tem incentivado o aumento do número de empresas que promovem a reciclagem desse tipo de bateria, cujas placas são retiradas e fundidas a altas temperaturas em fornos, transformando o chumbo derretido em lingotes, posteriormente comercializado como matéria-prima

Recebimento: 12/10/2009 • Aceite: 9/3/2010

1 Doutorando em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande/PPGRN/CTRN. E-mail: joselysolo@yahoo.com.br

2 Licenciada em Química. Universidade Estadual da Paraíba/CCSA. E-mail: edilmarbd@yahoo.com.br

3 Especialista em Auditoria. Universidade Estadual da Paraíba/CCSA. E-mail: juliana_nb@hotmail.com

4 Doutor em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção Centro de Ciências e Tecnologia. Av. Vigário Calixto, nº 2.144 – apto. 204 – 58411-070. Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: edimar.ab@hotmail.com

secundária para a fabricação de novas baterias. O processo de reciclagem gera, como subproduto, resíduos sólidos (escórias) que, por não possuir valor comercial, são descartados aleatoriamente em terrenos baldios, provocando a contaminação do ambiente por vários elementos químicos, dentre eles o chumbo. Cada solo possui uma capacidade adsorptiva própria e, uma vez ultrapassada, permite que o metal fique potencialmente disponível para ser absorvido pelas cadeias alimentares acarretando sérios problemas não só para a saúde das pessoas, assim como para o ecossistema como um todo. Este trabalho faz um levantamento dos impactos ambientais causados por uma indústria que promove esse tipo de reciclagem, instalada no município de Campina Grande (PB).

Palavras-chave: Impacto ambiental; Contaminação do solo; Reciclagem de baterias, Chumbo.

Study of environment impacts in soils: Acid lead type used car batteries recycle case

Abstract

Increasing number of soils contaminated by lead, can be found nowadays, specially because of its use in the composition of many industrial products, which are demanded by modern society. For example, lead is used in pipe manufacturing, electrical wire covering, sink, tank and roof manufacturing, and specially in car batteries manufacturing. This fact causes the appearance of a significant number of companies which recycle this type of battery. The process starts when the lead plates are taken off from the batteries and then smelted in a high temperature oven. Afterwards the melted lead is transformed into solid pieces and finally sold to industries that manufacture batteries, to use them as a secondary raw material. The recycle batteries process produces solid residues that are left in the soil because it has no trade value. This fact causes contamination of the environment by lead and other elements. When soil absorption limits are exceeded, the metal remains in the soil surface and can be

consumed by the feed chains, causing big problems to the people health and to the ecosystem as a whole. This work makes a survey of environment impacts caused by an industry that manufactures this kind of recycle and it is situated in Campina Grande city.

Keywords: environment impacts; soils contaminated; batteries recycle, lead.

Introdução

No início da civilização, o homem exercia pequena influência no ambiente, apenas coletava e caçava para sobreviver. As alterações no equilíbrio da biosfera deram-se a partir da passagem para a agricultura, onde a queima da vegetação nativa era técnica básica de cultivo daquela época. Com o aumento da população, máquinas acionadas por fontes de energia resultantes de combustão foram desenvolvidas para suprir o consumo exigido pelo contingente cada vez maior de pessoas. Conseqüentemente, as alterações no ambiente acentuaram-se com a geração de vários tipos de resíduos, muitos deles contendo metais pesados (elementos químicos cuja massa específica é maior que 6 g.cm^{-3} ou que possuem número atômico maior do que 20), tanto pelas indústrias quanto pela população (MATIAZZO & PREZOTTO, 1992).

De acordo com Tackett (1987), a ocorrência de solos contaminados por esses metais pesados, a exemplo do chumbo (Pb), está se tornando cada vez mais comum. A contaminação do ambiente pelo chumbo tem origem, principalmente, nas emissões atmosféricas, provenientes de fundições de metais, fábricas de baterias automotivas e indústrias químicas (principalmente quando não utilizam filtros de ar durante o seu processo industrial). O ar é o principal meio de transporte e distribuição desse metal, não sendo, entretanto, menos importante às contaminações decorrentes dos insumos agrícolas ou deposições de rejeitos industriais (escórias) com altas concentrações deste elemento.

Durante o processo de reciclagem de baterias automotivas, ocorre a geração de resíduos (escória) que, se descartados aleatoriamente no meio ambiente, provocam a precipitação, a adsorção e o transporte dos vários elementos que formam a escória, principalmente o chumbo, residindo aí o problema: cada ambiente possui uma capacidade adsorviva própria e, uma vez ultrapassada, o metal fica potencialmente disponível para ser absorvido pelas cadeias alimentares.

As baterias automotivas são normalmente do tipo chumbo-ácido (Chumbo-Ácido), o que faz com que sejam classificadas como de elevado risco ambiental. Se descartadas inadequadamente, poderão acarretar sobre os seres vivos em geral, efeitos negativos devido a sua toxidez e seu efeito acumulativo no organismo. O CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da Resolução N° 257/99, trata da questão relacionada com o descarte de pilhas e baterias usadas e trata

de sua disposição final, embora no Brasil ainda não exista um consenso quanto à concentração máxima permitida de chumbo no solo.

Nesse contexto, este trabalho apresenta o impacto ambiental, especificamente com relação ao solo, causada por uma indústria que promove esse tipo de reciclagem, instalada no município de Campina Grande - PB.

Desenvolvimento

Propriedades químicas do chumbo

O chumbo pertence ao grupo IV A da tabela periódica, apresenta número atômico 82 e dois estados de oxidação (Pb^{+2} e Pb^{+4}), sendo o Pb^{+2} , o íon dominante do ponto de vista da química ambiental. O chumbo elementar é uma mistura de quatro isótopos estáveis, cuja abundância aparece entre parêntese: ^{208}Pb (51-53 %), ^{206}Pb (23,5-27 %), ^{207}Pb (20,5-23 %) e ^{204}Pb (1,35-1,5 %) (ATSDR, 2005). É um metal denso ($11,3 \text{ g cm}^{-3}$), cinza azulado, que se funde a $327 \text{ }^\circ\text{C}$ e entra em ebulição a $1744 \text{ }^\circ\text{C}$ (ATKINS, 2001; LEE, 1997; PAOLIELLO e CHASIN, 2001).

Origem e ocorrência do chumbo na natureza

Quanto à origem, a presença do Pb no solo pode ser dividida em litogênico e antropogênico (ALLEONI *et al.*, 2005). No litogênico, a presença do Pb no perfil do solo sofre influência dos processos de intemperismo e de formação, devido à sua separação entre os vários componentes do solo. Com relação aos vários fatores responsáveis por esta separação, destaca-se o raio iônico e o número de coordenação, o primeiro em virtude da seletividade ou preferência do elemento pelo complexo de troca e o segundo em virtude dos elementos que apresentam número de coordenação maior que seis não conseguirem ocupar o centro de uma estrutura octaédrica de um mineral secundário, estando assim, presentes no solo ligados principalmente ao material humificado.

Produção de chumbo e Consumo mundial

Os principais países produtores de chumbo no ano de 2004 foram a China, Austrália e Estados Unidos, o que representa 30,1, 21,6 e 14,0 % da produção mundial. O Brasil aparece na produção mundial em pequena proporção, representando aproximadamente 0,5 % no ano de 2004. Ainda neste mesmo ano, o Brasil importou 76.223 toneladas de chumbo sendo 90,83 % (na forma bruta e refinada), 0,14 %, na forma de

chapas, lâminas, barras, fios, folhas e obras de chumbo) e 9,03 %, na forma de monóxido, sulfato, carbonato e silicato de chumbo. (RIBEIRO, 2004).

A produção de chumbo “puro” pode ocorrer de duas maneiras: a primeira através da extração do chumbo nos minérios (denominado de chumbo primário), tais como, a galena (principal minério), cerussita, anglesita, piromorfita, vanadinita e a wulfenita; a segunda maneira é por meio de reciclagem (denominado de chumbo secundário), principalmente de baterias de chumbo-ácido retornando à sua forma “pura” (DINIZ, 2004).

Apesar dos números consideráveis das reservas de chumbo no ano de 2000 no Brasil, deve-se salientar o baixo teor de Pb que, apesar de ter variado de 1,39 a 10,8% nos estados de Minas Gerais e São Paulo, respectivamente, apresentam má qualidade provocando um alto custo operacional. Sendo assim, a produção de chumbo no país ocorre principalmente pela forma secundária, através do processo de reciclagem.

Observando-se a Tabela 1, percebe-se a importância da produção de chumbo secundário no Brasil que, graças a várias recicladoras instaladas por todo país são responsáveis pelo abastecendo do mercado interno, principalmente, a partir de 1996 (DNPM, 2001):

Tabela 1: Evolução da produção de chumbo, em toneladas, de 1988 a 2000

Período	Concentrado	Metal Primário	Metal Secundário	Chumbo total
1994	1.329	806	60.000	60.806
1995	11.612	5.690	65.000	70.690
1996	13.157	0	45.000	45.000
1997	14.298	0	45.500	45.500
1998	12.394	0	45.000	45.000
1999	16.319	0	45.000	45.000
2000	13.382	0	50.000	50.000

Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001

A participação da produção do metal secundário no consumo interno de chumbo, conseguida através de recuperação de sucatas, tem crescido em relação ao metal produzido no país, pois hoje esta contribuição chegou a 90%. Estes dados vêm crescendo especialmente devido ao aumento do número de indústria automotiva instalada no território nacional, bem como a economia de energia e conscientização

ambiental, pois os vendedores de bateria recebem as usadas proporcionando um abatimento na aquisição da nova.

A produção mundial de chumbo proveniente das minas atingiu 3,02 milhões de toneladas, enquanto que a brasileira, com 9 mil toneladas, representa 0,003% da mundial. A produção de chumbo refinado registra 6,3 milhões de toneladas ao passo que a nacional está em torno de 50 mil toneladas, participando com 0,79% da mundial. A saber, 50 mil toneladas provenientes da secundária (sucata).

Os consumidores de chumbo no Brasil são, por ordem de importância: os acumuladores (baterias), 80%, que representam cerca de 88 mil toneladas de metal; os óxidos, 12%, correspondendo a 13 mil toneladas; e eletroeletrônico (ligas, soldas e diversos), 8%, com 9 mil toneladas. Em comparação com os Estados Unidos da América onde, em 1999, os acumuladores (baterias) respondem por 76%, 1,5 milhões de toneladas, eletroeletrônico por 22%, com 371 mil toneladas e, finalmente, outros com 2% representando um consumo de 34 mil toneladas.

O consumo do chumbo para utilização em acumuladores (baterias) está crescendo em todos os países e, nos Estados Unidos, há uma previsão de crescimento em torno de 3,3% ao ano. Por outro lado, está ocorrendo aceleradamente a substituição do metal como aditivo na gasolina, devido à pressão da educação ambiental. Vale salientar que ocorreu a substituição na gasolina produzida no Brasil. Segundo a Petrobras, esta redução atingiu a zero. Espera-se um crescimento do consumo nacional tendo em vista a instalação de várias montadoras de automóveis.

A estabilidade da moeda nacional proporcionará um crescimento duradouro e contínuo do mercado consumidor. É bom, também, frisar que está em franco desenvolvimento a indústria eletroeletrônica no país, que é uma expressiva consumidora deste bem mineral. Acrescente, ainda, o aumento da produção da indústria cerâmica e de tintas que são dependentes de chumbo em forma de óxidos.

Principais utilizações do chumbo

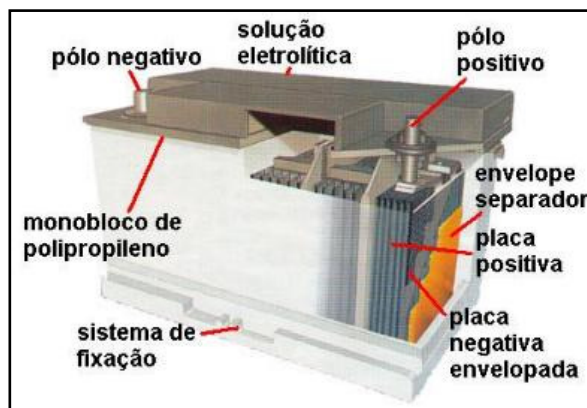
O chumbo tem a propriedade singular de absorver radiações de ondas curtas, tais como, as emanções do rádio ou produzidas pelos raios-X. Possui, também, boas propriedades de antifricção a certas ligas. As características demonstradas e a facilidade de combinar com outros elementos fazem do chumbo um dos metais de maior emprego na indústria moderna, tanto puro, como sob a forma de composto, é um

dos principais metais do grupo dos não-ferrosos. Ele é um dos metais mais antigos usados pelo homem e, muitas das primitivas aplicações têm persistido através dos séculos. Era conhecido pelos antigos egípcios, que utilizaram há mais de oito mil anos. Os jardins suspensos da Babilônia eram assoalhados com folhas de chumbo soldadas e as pedras das pontes eram ligadas por ganchos de ferro soldados com chumbo. Ele é o sexto metal de maior utilidade industrial. O seu uso principal é na construção de baterias para automóveis e estacionárias, que consomem em torno de 70% em todo mundo.

A Composição de uma bateria automotiva tipo chumbo-ácido

Tecnicamente, o nome bateria é dado a uma associação de pilhas ou acumuladores ligados em série. Um dos acumuladores mais usados é a bateria de chumbo-ácido, composta por vários tipos de materiais, entre eles: componentes metálicos, solução ácida, polímeros e, em maior proporção, o chumbo, conforme apresentado na Figura 1, a seguir:

Figura 1: Componentes de uma bateria automotiva



Fonte: Abinee, 2008

A Tabela 2 mostra a composição, em massa, desse tipo de bateria:

Tabela 2: Composição média de uma bateria de chumbo-ácido para automóveis

Componentes	Massa (%)
Chumbo	61,2
Água	13,3
Ácido sulfúrico puro	9,6
Caixa de polipropileno	8,2
Grelha metálica (Sb, Sn, As)	2,1
Polietileno (separadores)	2,0
Conexões (Cu)	0,3
Outros materiais (plástico, papel, madeira, PVC)	3,3

Fonte: Jolly e Rhin, 1994.

Nos últimos anos, as vendas industriais de baterias automotivas no Brasil têm crescido significativamente em função do aumento da frota circulante de veículos automotivos. Segundo o Sindipeças (2009), essa frota alcançou, em 2008, um montante de 27,8 milhões de veículos, incluídos automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus, número 7,5% superior ao de 2007, o maior percentual de crescimento nos últimos 28 anos.

Levando-se em consideração que, tecnicamente, a vida útil de uma bateria é de dois anos, seriam descartadas anualmente cerca de 13.900.000 unidades. Estimando-se que desse montante, 20% são recondicionadas artesanalmente (reutilizadas) por pequenas oficinas auto-elétricas, restariam 11.120.000 unidades à disposição dos recuperadores. Levando-se em conta que, em média uma bateria tem 8,0 kg de chumbo e que o processo industrial de recuperação atinja uma eficiência de 70,0% (caso se adotasse sistema sério de reciclagem/recuperação de chumbo), o nosso país estaria apto a produzir 62.270 toneladas de chumbo secundário.

De acordo com o DNPN, 2001, no ano de 2000 consegue-se produzir apenas 50.000 toneladas. Depreende-se, portanto, que houve grande descarte de bateria no ambiente com graves riscos. Outra hipótese para esta inconsistência seria o grau de confiabilidade das estatísticas disponíveis. Essa dúvida somente será elucidada após a implementação de um sistema de identificação e rastreamento de todas as baterias que viessem a ser efetivamente comercializadas/recicladas no Brasil.

O chumbo é adequado para a fabricação de baterias de chumbo-ácido devido à sua condutividade, resistência à corrosão, baixo custo e, particularmente, à reação reversível entre o óxido de chumbo e o ácido

sulfúrico, o que faz com que cerca de 80% do chumbo produzido no mundo anualmente seja consumido na fabricação de baterias automotivas (Sato *et al.*, 2001).

Portanto, grande parte do chumbo disponível no Brasil é proveniente principalmente da reciclagem de sucatas (chumbo secundário), sendo assim, praticamente todas as baterias existentes no mercado, são provenientes de outra bateria que foi reciclada.

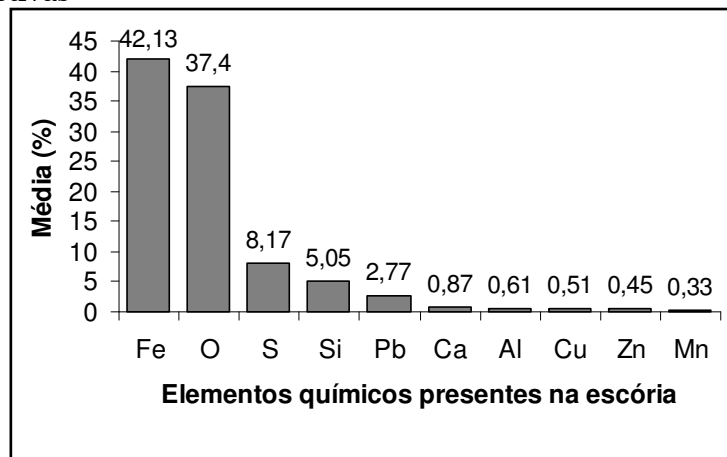
A Obtenção do chumbo via reciclagem de baterias automotivas

No processo de reciclagem das baterias, as placas de chumbo são fundidas a altas temperaturas em forno. O produto derretido é vazado em um cadinho de refino, transformando em lingotes, que são armazenados e vendidos como matéria prima secundária para a fabricação de uma nova bateria (MEDINA e GOMES, 2003).

O processo de produção de chumbo, a partir de resíduos de baterias chumbo-ácido, gera uma grande quantidade de resíduo sólido (escória) durante a etapa de fundição, quando o chumbo é recuperado na forma metálica. Nos fornos de fundição de chumbo, as impurezas presentes na matéria-prima juntamente com outros materiais adicionados para promoverem as reações necessárias para o processo, formam a escória. Essa escória é um resíduo bastante básico, sendo essencialmente constituída de ferro na forma de seus óxidos e sulfeto, e cujo teor de chumbo está na faixa de 1 a 3% em massa. Além disso, outros metais, que estão como impurezas nas matérias-primas, também são encontrados na escória em pequenas concentrações (LEWIS e BEAUTEUMENT, 2002; GOMES e MARQUES, 2005).

Logo, se a escória for descartada no meio ambiente de forma inadequada, ter-se-ia sérios riscos para o ambiente em geral. Na Figura 2, a seguir, tem-se a média, em percentual, desses elementos químicos:

Figura 2: Análise da escória obtida quando da reciclagem de baterias automotivas



Fonte: Kreusch, 2005

Segundo Lewis & Beautement (2002) o chumbo presente na escória está na forma de PbS (chumbo elementar) proveniente do PbO e do PbSO_4 durante o processo de fundição. Portanto, essa escória pode ser reutilizada na fundição, obtendo assim, um máximo aproveitamento deste elemento na produção de lingotes e uma minimização dos impactos ambientais provenientes do descarte desta escória em aterros.

Kreusch (2005), estudando o processo industrial de reciclagem do chumbo em uma indústria de reciclagem de bateria de chumbo-ácido, realizou o somatório referente à utilização das placas de baterias (kg) dos meses de Janeiro a Setembro de 2004 e o total de chumbo reciclado (kg) para cada mês, obtendo os resultados representados pela Tabela 3:

Tabela 3: Placas de baterias utilizadas x Quantidade obtida de chumbo/mês

Ano: 2004	Placas de baterias (kg)	Chumbo (Pb) (kg)
Meses		
Janeiro	190.418	123.777
Fevereiro	159.041	95.574
Março	222.961	143.922
Abril	255.594	154.734
Maio	211.973	117.453
Junho	248.103	132.821
Julho	186.656	109.922
Agosto	243.954	157.760
Setembro	259.031	174.777
Total	1.977.731	1.210.740

Fonte: Kreusch, 2005

Ao consultar-se os dados apresentados na tabela 3, verifica-se que a obtenção do elemento chumbo (Pb), a partir de placas de baterias automotivas usadas, no período observado (janeiro a Setembro de 2004), apresentou valores entre 65,0% a 67,5%, o que comprova o fato de que a concentração de chumbo (Pb) na escória, não é a mesma ao final de cada processo de reciclagem.

Por outro lado, um detalhe extremamente preocupante, é que a quantidade de chumbo (Pb) desperdiçada, é elevadíssima. Como exemplo, pode-se observar que no mês de junho/2004, cerca de 46,5% de chumbo (Pb) foram liberados no meio ambiente, seja através da escória, de partículas (pó) liberadas pelo forno de fundição, etc.

Impactos ambientais negativos provocados pelo chumbo

I) Efeitos sobre a saúde humana - Quanto à saúde humana, o chumbo pode causar diversos males. Interfere na produção da hemoglobina e na produção de espermatozoides, causa distúrbios renais, neurológicos e no encéfalo. É nas crianças que os danos podem ocorrer mais precocemente, Carvalho et al., (2003) estudaram a contaminação por chumbo em crianças de 1 a 4 anos de idade residentes em Santo Amaro da Purificação - BA, e constataram que o nível médio de chumbo foi de $17,1 \pm 7,3 \mu\text{g dL}^{-1}$ e cerca de $5 \mu\text{g dL}^{-1}$ mais elevados em crianças que tinham transtorno do hábito alimentar, causando uma queda do Quociente de Inteligência (QI) de 1 a 3 pontos para cada aumento de $10\mu\text{g/dL}$ de chumbo no sangue. De acordo com a literatura atual, estes efeitos podem ocorrer quer por exposição

ambiental, quer por transferência placentária mãe feto (Mavropoulos, 1999; Nakamura, 2002);

II) Efeitos sobre o ambiente - Com exceção do nitrato, clorato, e, em menor grau, o cloreto, os sais de chumbo são poucos solúveis em água. O Chumbo forma compostos orgânicos estáveis, como por exemplo, o chumbo tetraetil e o chumbo tetrametil, ambos voláteis e pouco solúveis em água, na qual foram usados como aditivos de combustível. A poluição do ambiente acontece pela fundição e refinação do chumbo, queima do petróleo contendo aditivo, indústrias e em menor grau, chumbo metálico derivado de cartuchos de espingarda ou quando usado como peso em pescaria, que uma vez perdido no ambiente, freqüentemente permanece disponível a organismos (Who, 1989).

a) No ar - Na atmosfera o chumbo encontra-se na forma particulada. Essas partículas quando lançadas no ar podem ser removidas da atmosfera e transferidas para superfícies e compartimentos ambientais por deposição seca ou úmida. Cerca de 40-70% da deposição do chumbo ocorre por precipitação úmida, dependendo de fatores como localização geográfica e nível de emissão na área (Atsdr, 1993; Who, 1995). Tem sido calculada para o chumbo uma razão anual de precipitação de $0,18 \times 10^{-6}$, considerada baixa comparando-se com outros metais estudados, indicando, portanto, que o chumbo é removido da atmosfera de forma relativamente rápida. A deposição úmida é mais significativa do que a seca para remoção do metal da atmosfera.

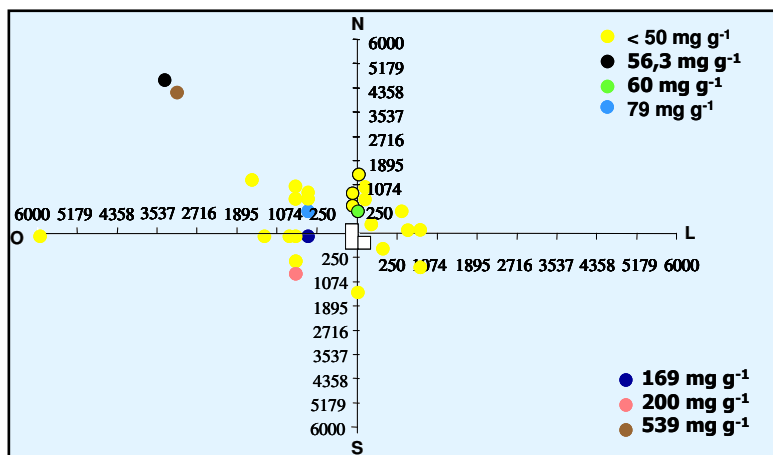
Das emissões de chumbo particulado lançado por automóveis, 20-60% é depositado próximo da fonte. O tamanho da partícula constitui um fator importante na determinação do transporte atmosférico do metal. Partículas grandes (diâmetro $> 2 \mu\text{m}$) precipitam da atmosfera rapidamente e são depositadas relativamente próximas às fontes de emissão, enquanto partículas pequenas podem ser transportadas a muitos quilômetros de distância. O chumbo tem sido encontrado em locais distantes da fonte de liberação, indicando que um transporte atmosférico longo pode ocorrer (Atsdr, 1993).

Analisando os teores de chumbo no solo próximos a uma indústria de reciclagem de baterias automotiva, Figueiredo (2004), constatou-se a presença deste metal em concentrações elevadas de 200 mg g^{-1} a 539 mg g^{-1} a uma distância de 600,0 m e 3.100,0 m nas direções sudoeste e noroeste da indústria, respectivamente.

A contaminação do solo pelo chumbo a uma longa distância da indústria é devido às correntes de ar que, no local do experimento

ocorriam na direção sudeste - noroeste. A Figura 3, a seguir, apresenta os resultados das análises das amostras de solo coletadas na profundidade (0-20 cm) em torno da indústria recicladora de baterias automotiva objeto de análise, numa distância, em metro:

Figura 3: Análise do solo em torno da indústria recicladora objeto de análise



Fonte: Adaptado de Figueiredo, 2004

A velocidade média de deposição seca das partículas do metal ($0,06\text{-}2,0 \mu\text{m}$ de diâmetro) foi estimada no intervalo entre $0,2$ e $0,5 \text{ cm s}^{-1}$ em florestas coníferas da Suécia. As partículas de chumbo provenientes das emissões de automóveis são bem pequenas ($< 0,1 \mu\text{m}$ de diâmetro), mas podem crescer de diâmetro por coalescimento (Atsdr, 1993).

Considerando a concentração de chumbo atmosférica global, velocidade do vento, área de superfície e textura, uma deposição global de aproximadamente 410.000 toneladas por ano (seca e úmida) foi calculada pela EPA americana (Who, 1995);

b) No solo - A contaminação do solo por metais pesados acontece quando a quantidade do metal exposto ao ambiente supera a capacidade na qual o solo consegue retê-lo, assim, uma vez presente na forma solúvel no solo, este poderá ser absorvido pelas plantas ou lixiviado para camadas mais profundas, colocando em risco a qualidade de águas subterrâneas e conseqüentemente toda uma cadeia alimentar (Matos *et al.*, 1996).

O solo mesmo não sendo utilizado como aterro, ou então, estando distante de grandes centros industriais, apresenta certas concentrações de Pb, esta afirmação é confirmada através do trabalho de Reaves & Berrow (1984) que analisaram a distribuição de chumbo em 3.944 amostras de solos não contaminadas, encontrando média de 13 mg kg^{-1} em solos minerais e de 30 mg kg^{-1} em solos orgânicos. A justificativa pela presença do Pb em solos não contaminados por fontes antropogênicas está relacionada ao material de origem.

O chumbo é fortemente retido no solo, e muito pouco é transportado para águas superficiais ou profundas. São vários os fatores que interferem no transporte do chumbo no perfil do solo e na disponibilidade do metal, Malavolta (1994) cita: textura – Quando aumenta o teor de argila, cresce a CTC, o teor de óxidos de Al e Fe e a fixação do metal; pH – Provavelmente o fator mais importante para a solubilidade, mobilidade e disponibilidade; com a elevação do pH, o Pb pode ser precipitado como hidróxido, fosfato ou carbonato e a formação de complexos com a matéria orgânica é favorecida; matéria orgânica – A fixação pela matéria orgânica pode ser mais importante que a precipitação por CO_3^{-2} ou que a adsorção por óxidos hidratados.

Devido à baixa mobilidade do chumbo no perfil do solo e a elevada adsorção na fase sólida do solo (inorgânico e orgânico), o chumbo se acumula principalmente nos primeiros centímetros de profundidade do solo, podendo vir a acarretar sérios riscos ao ecossistema e a saúde humana, pois, em casos de erosão, o chumbo é transportado para outros locais. Com relação à saúde humana, a contaminação é maior em crianças devido a maior exposição a solos contaminados, principalmente quando brincam em locais próximos a grandes centros industriais;

c) Nos corpos d'água - O chumbo é depositado nos lagos, rios e oceanos, proveniente da atmosfera ou do escoamento superficial do solo, oriundos de fontes naturais ou antropogênicas. O metal que alcança a superfície das águas é adsorvido aos sólidos suspensos e sedimentos. Dentre as fontes antropogênicas mais importantes, destacam-se as operações de produção e processamento do metal, além das indústrias de ferro e aço. O escoamento superficial urbano e as deposições atmosféricas são fontes indiretas significativas do chumbo encontrado em ambientes aquáticos (ATSDR, 1993).

A Legislação brasileira sobre pilhas e baterias usadas

Em 1999, o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente aprovou a resolução 257/99, inédita na América Latina, que aborda os

impactos ambientais negativos devido ao descarte inadequado de pilhas e baterias usadas e trata de sua disposição final. A referida resolução disciplina o gerenciamento ambientalmente adequado de baterias esgotadas, no que tange a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final.

Nesse sentido, as empresas fabricantes de baterias automotivas têm, basicamente, se restringido à confecção de cartazes para serem enviados a todos os auto-elétricos e pontos de venda e de etiquetas a serem colocadas nos produtos, com informações, tais como: *i*) Necessidade de se devolver à bateria usada a um ponto de venda e não descartar no lixo; *ii*) Obrigação dos pontos de venda em aceitar a bateria usada e armazená-la adequadamente, bem como devolvê-la ao fabricante para reciclagem e *iii*) Os riscos do contato dérmico com a solução ácida e com o Chumbo. Na prática, não existe um sistema de controle sobre baterias automotivas usadas. As principais providências que estão sendo tomadas, para atendimento pleno da Resolução do CONAMA, referem-se à orientação, informação e compromisso solitários entre fabricantes e clientes.

Com relação ao teor máximo aceitável de chumbo presente em compostos de resíduos sólidos urbanos e/ou industriais antes de ser utilizado na agricultura ou descartado em aterros, o Brasil ainda não possui nenhuma lei, decreto ou resolução determinando este teor. Porém, a concentração máxima aceitável dos principais metais no solo, já foram estipuladas em alguns estados brasileiros, tais como, Paraná e Rio Grande do Sul, conforme Tabela 4, a seguir:

Tabela 4: Concentração máxima aceitável dos principais metais no solo

Metal	Paraná ¹		Rio Grande do Sul ²	Ontário, Canadá ³	Itália ⁴
	pH < 7 -----mg kg ⁻¹ -----	pH > 7 -----mg kg ⁻¹ -----	kg ha ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----	
Cd	1	3	5	1,6	3
Cr	100	150	1000	210	(Cr+6), 50 (Cr+3)
Cu	50	210	280	150	100
Pb	50	300	700	90	100
Hg	1	1,5	2	0,8	2
Ni	30	112	70	32	50
Zn	150	450	560	330	300

Fonte: Companhia de Saneamento do Paraná (1997)

Com relação aos corpos d'água, o CONAMA determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, desde que o valor máximo de chumbo seja igual a 0,5 mg L⁻¹.

Resultado e discussão

O processo de reciclagem na empresa objeto de análise

Na indústria recicladora de baterias automotivas tipo chumbo-ácido, instalada no município de Campina Grande e objeto de análise, são adquiridas, em sucatas existentes em diversos pontos da cidade e da região, baterias automotivas imprestáveis.

Essas baterias são submetidas a um processo de fundição, realizada em forno rotativo, composto por um cilindro horizontal de aço, com seu contorno interno revestido por refratários, montado sobre rodas, visando extrair o chumbo existente em suas placas. O aquecimento dessas placas é feito através da combustão de óleo enriquecido com oxigênio, injetado através de um queimador que se localiza na extremidade oposta à alimentação.

No processo de fundição, são colocados no forno rotativo, além do chumbo, sucata metálica constituída basicamente por ferro (limalha), carvão e areia para promover a homogeneização durante a fundição, como também, para retirar as impurezas. No final do processo, o chumbo é vazado para reservatórios onde passará por um processo de purificação e, por fim é transformado em lingotes que serão reutilizados na fabricação de novas baterias.

No decorrer do processo de obtenção desses lingotes de chumbo (sólidos) são liberados, além de ácido sulfúrico, o óxido de chumbo - que é um produto extremamente poluente e, quando em contato com o solo, tem o poder de contaminar o lençol freático da área.

Na Figura 4, a seguir, tem-se um registro fotográfico do forno de fundição utilizado no processo, além de lingotes de chumbo produzidos pelo processo:

Figura 4: Forno de fundição e lingotes produzidos

Forno de fundição rotativo

Lingotes de Chumbo (Pb)

Durante o processo de reciclagem, os principais resíduos gerados, que podem vir a contaminar o meio ambiente, são: a escória (subproduto da reciclagem de bateria) e os particulados liberados durante a fundição. Tais resíduos podem causar sérios impactos ambientais negativos, podendo os mesmos serem classificados como: negativos, diretos, indiretos, irreversíveis e permanentes.

Na Figura 5, a seguir, tem-se um registro fotográfico do descarte da escória, em terreno baldio, anexo à empresa:

Figura 5: Escória, espalhadas em terreno aberto

Escórias

Resultados Obtidos

Um dos problemas identificados no processo da reciclagem de baterias automotivas visando a extração do elemento chumbo (Pb), na empresa objeto de análise, foi a produção de uma grande quantidade de resíduos (para cada tonelada de bateria reciclada, foram produzidas uma média de 671,0 kg de escórias), o que provoca prejuízos econômicos e, principalmente, sérios impactos ambientais.

Com relação à concentração de chumbo (Pb), adotando-se a metodologia sugerida por Abreu et al., 1995 & Abreu *et al.*, 1998), foram detectadas uma média de 25,3 gramas de chumbo/Kg de escórias produzidas.

O solo na qual a indústria objeto de estudo encontra-se instalada é do tipo Neossolo Litólico, de textura arenosa, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixo teor de matéria orgânica. Esse solo é raso, apresentando não mais que 50,0 cm de profundidade.

Numa determinada área, distante aproximadamente 500,0m do local onde se encontra instalada a indústria, foram coletadas amostras do solo, como forma de determinar-se, nessas amostras, o teor médio de chumbo. Análises químicas detectaram, nas amostras, a existência de uma concentração de chumbo igual a 14,3 mg.dm⁻³, comprovando que havia a contaminação do solo, via ação do ar atmosférico.

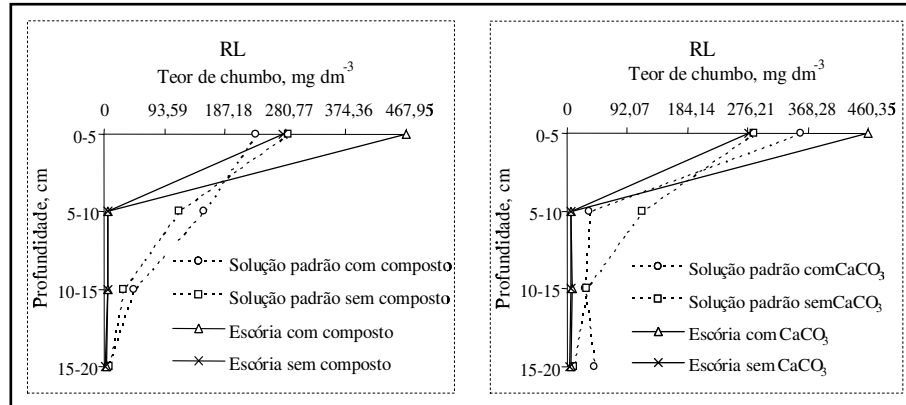
Também foram realizados estudos, utilizando a escória produzida pela indústria, com o intuito de verificar se a mesma apresenta potencial em liberar chumbo para o solo, neste estudo também foi utilizada uma solução padrão de acetato de chumbo trihidratado (solução padrão) para que fosse feita a comparação da mobilidade entre ambas as fontes (a escória e a solução), sob a influência da calagem (2,4g equivalente a 5,4 t.ha⁻¹) e de composto orgânico (9,0g equivalente a 20,4 t ha⁻¹) em colunas de lixiviação (as colunas possuíam 7,5 cm de diâmetro interno e uma área de 44,2 cm² e 20 cm de altura; o teor de chumbo aplicado nas colunas foram equivalentes a 558,7 mg.kg⁻¹ ou 50,0 t.ha⁻¹ de Pb em ambas as fontes).

Os resultados obtidos comprovaram que a solução padrão foi responsável pela maior mobilidade do chumbo independente da aplicação da calagem e do composto orgânico. Porém, deve-se destacar o elevado potencial poluidor da escória, uma vez que os teores totais de chumbo distribuído nas quatro profundidades da coluna de lixiviação na ausência de composto orgânico e CaCO₃ foram de 440,3 mg.dm⁻³ para a solução padrão e de 291,6 mg.dm⁻³ para a escória, respectivamente.

Na Figura 6, tem-se o teor de chumbo no solo Neossolo Litólico coletado nas proximidades da indústria de reciclagem de bateria

pesquisada, após aplicação de fontes de chumbo (solução padrão - acetato de chumbo trihidratado e escória de indústria) na presença e ausência de composto orgânico em colunas de lixiviação:

Figura 6: Teor de chumbo no solo



Fonte: Fernandes (2006)

Experimentalmente, verificou-se que a aplicação da calagem (uso do calcário) e do composto orgânico (esterco) no solo contaminado diminuiu a mobilidade do chumbo proveniente da escória nas colunas de lixiviação. Os maiores teores foram identificados nos primeiros 5,0cm de profundidade. Assim, ambos corretivos (calagem e matéria orgânica) poderiam ser utilizados com forma de diminuir a mobilidade do chumbo no solo e, conseqüentemente evitar uma possível contaminação de lençóis freáticos.

Recomendações Finais

Visando minimizar os impactos ambientais negativos causados ao meio ambiente e à saúde do trabalhador, faz-se necessário garantir o bom funcionamento ambientalmente correto da empresa, gerando confiança dos agentes de fiscalização, dos clientes, colaboradores e funcionários.

Para tanto, foi recomendado à empresa objeto de estudo as seguintes ações:

- a) Instalar exaustores para coleta de fumos emitidos nos processos de fundição e soldagem;

- b) Promover aperfeiçoamento técnico do processo de reciclagem, visando reduzir o teor de chumbo presente na escória;
- c) Viabilizar a destinação final da escória produzida em um local apropriado;
- d) Executar calagem e aplicação de matéria orgânica no terreno onde estão sendo depositadas as escórias (próximo a indústria), como forma de diminuir a lixiviação do chumbo no perfil do solo;
- e) Distribuir equipamentos de proteção individuais (EPIs) e promover treinamento aos funcionários, destacando a importância do uso desses equipamentos.

Referências

ATSDR Agency for toxic substances and disease registry. **Chemical and physical information**. 22 Sep. p. 253-262, 2005. Disponível em : <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13-c4.pdf>> Acesso em 06 set. 2009.

ABINEE – Associação Brasileira de Indústria eletro-eletrônica. **Newsletter Abinee**. São Paulo, 2008

_____. **Toxicological profile for lead**. Atlanta, 1993, 307p.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F. de; RAIJ, B. VAN; SANTOS, W. R. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.19, n.3, p.463-468, 1995.

ABREU, C. A. de.; ABREU, M. F. de.; ANDRADE. J. C. de. Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de DTPA e Mehlich-3. **Bragantia**, v. 57, n.1, p. 185-192, 1998.

ALLEONI, L. R. F; BORBA R. P.; CAMARGO O. A. de. Metais Pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, Á. P. da.; CARDOSO, E. J. (Eds.). **Tópicos em Ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo v. 4, 2005, p. 2-42.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do. **Interação dos metais pesados de resíduo siderúrgico com um solo podzólico vermelho amarelo**. Viçosa-

MG: Universidade Federal de Viçosa. Dissertação de mestrado. 1993. 163p.

ANDRADE, José Mário Ferreira de. **Gestão Ambiental para Implementação da Reciclagem de Baterias Automotivas, Controle das Recicladoras de Chumbo e de suas Áreas Potencialmente Contaminadas.** São José do Rio Preto. SP. 2001.

ATKINS. P.; JONES. L. **Princípios de Química.** Porto Alegre: Bookman, 2001, 619p.

AZEVEDO, A. C. de.; DALMOLIN, R. S. D.; ARAÚJO PEDRON, F. de. **Solos e ambiente – I Fórum.** Gênese, Rio Grande do Sul, Pallotti, 2004, 167p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias,** p.247-251,1979.

CARVALHO, F. M.; NETO, A. M. S.; CHAVES, C. D. R.; NASCIMENTO, L. D.; REIS, M. de A.; TAVARES, T. M.; COSTA, A. C. A. Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. **Rev. Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health,** v. 13, n. 1, 2003.

CONAMA - Conselho nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 20:** estabelece a classificação das águas e os níveis de qualidade exigidos. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>

Acesso em 11 set. 2008.

DINIZ, F. B.; **Disponível em: Acumuladores Moura:** Desenvolvimento Tecnológico e Meio Ambiente. <www.desenvolvimento.gov.br> Acessado em: 11/06/2009.

Departamento Nacional de Produção |Mineral - DNPM, chumbo, Balanço Mineral Brasileiro, p.19, 2001.

FERNANDES, J. D. **Adsorção e mobilidade de chumbo em solos influenciadas pela adição de composto orgânico e carbonato de cálcio.** 2006, 58f. Tese (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, Areia.

FIGUEIREDO, F. V. **Avaliação da contaminação do solo por metais provenientes de indústrias recicladoras de chumbo.** 2004, 122f. Tese (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Bauru.

GOMES, G. M. F.; MARQUES, L. L. **Caracterização e minimização da geração da escória da reciclagem de baterias ácido-chumbo.** Resumo.

Disponível em:
<<https://www.enq.ufrgs.br/dequi/pos/oktoberforum/uploads/96144831053.pdf>> Acesso em 01 jul. 2009.

GREENPEACE. Crimes ambientais corporativos no Brasil. IN: **Poluição Corporativa no Brasil – 1992-2002**, Capítulo 4, 2002, 32p.

JIN, Q.; WANG, Z.; SHAN, X.; TU, Q.; WEN, B.; CHEN, B. Evaluation of plant availability of soil trace metals by chemical fractionation and multiple regression analysis. **Environmental Pollution**. v. 91, p. 309-315, 1996.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 331.

KREUSCH, M.; A. **Avaliação com proposta de melhoria do processo industrial de reciclagem do chumbo e indicação de aplicabilidade para a escória gerada**. 2005, 115f, Tese (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LEE, J. D. **Química Inorgânica Concisa**. São Paulo. Edgard Blucher, 1997, 452p.

LEWIS, A. E.; BEAUTEUMENT, C. Prioritising objectives for waste reprocessing: a case study in secondary lead refining. **Waste Management**. v. 22, p. 677-685, 2002.

LIMA, J. S.; GORGATI, C. Q.; SANTOS, A. A. E. Chumbo como agente poluidor na cadeia alimentar In: Conferência Latino-Americana de Meio Ambiente, 4. **Anais**. Belo Horizonte, MG, 2001. Belo Horizonte, MG, IETEC, 2001. Disponível em: <http://www.ecolatina.com.Br/Br/artigos/riscos_ambientais/index.asp>. Acesso em: 14 Fev. 2003.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.

MATIAZZO-PREZOTTO, M. E. Química ambiental e agronômica. In: DECHEN, A. R.; BOARETTO, A. E.; VERDADE, F. C. (Coord.). **Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Piracicaba: Fundação Cargill, p. 157-178, 1992.

MATOS, A. T. de.; FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P.; COSTA, L. M. da. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo

vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Campinas, v.20, n.3, p.379-386, 1996.

MAVROPOULOS, E. **A hidroxiapatita como absorvedor de metais**. Dissertação de Mestrado. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 105 p. 1999.

MEDINA H. V. de; GOMES D. E. B. **Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas**. Série tecnologia ambiental. CETEM/MCT, N° 27, 2003. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_STA_27.PDF> Acesso em 06 set. 2008.

MELO, G. M. P. de.; MELO, V. P. de.; MELO, W. J. de. **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/CB5F6214/LODOMETAL.pdf>> Acessado em 29 ago. 2008.

NAKAMURA, M. S. Intoxicação por chumbo. **Revista de oxidologia**, v.11, n. 1, p. 37-42, 2002.

OLIVEIRA, C de. **Avaliação do potencial de contaminação de dois solos agrícolas com lodo de esgoto enriquecido com cádmio, chumbo e zinco**. 1998, 186f. Tese (Doutorado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

OLIVEIRA, R de C. **Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solos tratado com resíduo-calcário**. UFL, Dissertação de mestrado, Lavras-MG, p. 94. 2002.

PAOLIELLO, M. M.B.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001, 144p. (cadernos de referência ambiental; v. 3).

REAVES, G. A. and BERROW, M. L. **Total copper contents of Scottish soils**. **Journal of soil Science**, v. 35, p. 583-592. 1984.

RIBEIRO J. A. S. **Sumário Mineral Brasileiro, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/BA)**, 2004, disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2005/Chumbo%202005rev.doc>> Acesso em 01 nov. 2008.

SÁ, R. **Intoxicação**. Porto, 2001. Disponível em: <<http://www.geocities.com/joseruisa/chumbo.html>>. Acesso em: 19 dez. 05.

SARRUGE, J. R. Elementos não essenciais. In: MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: ED. Agronômica Ceres, Cap. 13. P. 453-473. 1976.

SATO C. H.; ARAÚJO, R. V. V. de; TRINDADE R. B. E. Estudo da dessulfurização da pasta de baterias automotivas visando a recuperação de chumbo. **Série Anais da IX Jornada de Iniciação Científica**. CETEM, 2001. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/serie_anais_IX_jic.htm> Acesso em 06/11/2008.

SINDIPEÇAS. **Comissão de Forecast**. Relatório: Estudo da Frota Circulante Brasileira em 2008. São Paulo. 2009.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 234 p. 1989

TACKETT, S. L. **Lead in the environmental**: effects of human exposure. American laboratory, Shelton, v. 19, p. 32-41, 1987.

TEUTSCH, N.; EREL, Y.; HALICZ, L.; BANIN, A. Distribution of natural and anthropogenic lead in Mediterranean soils. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. v. 65, p. 2853-2864. 2001.

WHO. **World Health Organization. International programme on chemical safety**. Lead: Environmental aspects. Geneva, 1989. (Environmental health criteria 85). Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc85.htm#SubSectionNumber:1.2.3>> Acesso em 11 set. 2009.

WHO. World Health Organization. **IPCS. Environmental health criteria 85 – Lead – environmental aspects**. Geneva, 1989, 106p. Publish under the joint sponsorship of the United Nations Environmental Program, the international Labour Organization, and the World Health Organization.