



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru



Avaliação da contaminação do solo por metais provenientes de indústrias recicladoras de chumbo

Eng^a Flávia de Vasconcellos Figueiredo

Orientador: Prof. Dr. Jorge Hamada

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

BAURU - SP
Dezembro – 2004

Ficha catalográfica elaborada por
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP – Bauru

Figueiredo, Flávia de Vasconcellos

Avaliação da contaminação do solo por metais provenientes de indústrias recicladoras de chumbo / Flávia de Vasconcellos Figueiredo. - - Bauru : [s.n.], 2004.

109 f.

Orientador: Jorge Hamada.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru, 2004.

1. Solos – Poluição. 2. Solos – Teor de chumbo. 3. Metais – Reaproveitamento. I – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru. II - Título.

RESUMO

O chumbo ocorre como contaminante ambiental em consequência de sua ampla utilização industrial. Assim, os trabalhadores destas indústrias podem ser contaminados ocupacionalmente, e seus familiares podem ser contaminados por meio de exposição indireta. Muitas pessoas também poderão se contaminar em função de contaminação ambiental do ar, solo, água superficial, subterrânea e vegetação. A exposição ao chumbo ou seus compostos pode levar ao saturnismo ou intoxicação por chumbo, que apresentará diversas formas de se manifestar conforme o grau de exposição, vias de inalação, e fatores pessoais, por exemplo, podendo apresentar-se como quadro agudo ou crônico, conforme a intensidade e duração dos sinais e sintomas. Para o estudo do problema da contaminação por chumbo, foram discutidas neste trabalho as campanhas de investigação da contaminação ambiental de solo, águas superficiais, subterrâneas, sedimento e vegetação realizadas em torno de uma indústria de fusão secundária de chumbo, após a paralisação de suas atividades. A contaminação do solo por chumbo é preocupante porque o chumbo normalmente fica retido na camada superficial, podendo ocasionar poeiras em suspensão, além do contato de crianças e animais com o solo contaminado. Outras fontes secundárias, extremamente preocupantes, são as águas e vegetação contaminadas. As áreas vizinhas a fontes de emissão de chumbo recebem resíduos desse contaminante que vão se depositando no ambiente, o que compromete ao longo do tempo, o uso dessas áreas. Estudos diversos mostram que mesmo após 10 anos de implantação de efetivo controle dessas fontes, o ambiente ainda apresenta níveis altos de chumbo. Portanto, deve-se realizar um controle dos produtos para consumo humano (leite, carne e produtos agrícolas) obtidos nessas áreas, já que os teores de chumbo poderão estar elevados. Este trabalho mostrou que o custo de uma campanha de investigação pode ser amplamente compensado com a diminuição do custo de eventual tratamento da área contaminada, principalmente se as campanhas prévias de monitoramento e investigação de uma área suspeita de contaminação forem bem conduzidas com relação aos parâmetros avaliados, número de pontos amostrados, profundidade avaliada (no caso de solos), espécie amostrada (no caso de vegetação) e localização dos pontos.

ABSTRACT

The lead occurs like an environmental contamination in consequence of its large industrial use. Therefore, the workers of these industries can be contaminated on the job, and their families can be contaminated by indirect occupational exposition. Many people also might contaminate themselves because of environmental contamination of air, soil, superficial and underground water and vegetation. The lead exposure or its compounds can take to the saturnism or lead intoxication, which will present several ways to express according to exposure grade, inhalation ways, and personal factors, for example, leading to present an acute or chronic condition, according to the intensity and duration of the signs and symptoms. For the problem's study of lead contamination, it was discussed in this work the campaigns of environmental contamination's investigation of soil, superficial and underground waters, sediments and vegetation occurred around a lead secondary fusion industry, after the paralisation of its activities. The soil contamination of lead is a concern because the lead usually is kept on the superficial layer, leading to happen dusts in suspension, besides the children's contact and animals with the contaminated soil. Other secundaries sources, extremely concerned, are the contaminated waters and vegetation. The neighboring areas to sources of lead emission receive wastes of this contaminant which compromise over the time the use of these areas. Studies show that even after ten years of implantation of permanent controls sources, the environment still presents high levels of lead. Therefore, it must take a control of products for human's consumption, such as milk, meat and agricultural products obtained of these areas, since the lead tenors can be high. This work showed that the cost of an investigation campaign can be largely worthed with the reduction of eventual treatment cost of the contaminated area, mainly if the previous campaigns of monitoring and investigation of an area suspect of contamination will be well leaded according to the assessed parameters, number of amostrates points, assessed depth (in case of soils), sampled specie (in case of vegetation) and points localization.

À memória da minha avó Alba,
por me ensinar que acreditar é o primeiro
passo na realização de um sonho.

AGRADECIMENTO

À Deus, por ter me dado forças para realizar esse trabalho.

Ao João Marcelo Ribeiro Soares, pelos incentivos, paciência, sugestões, críticas e trocas de idéias em geral.

Aos meus pais, pela base que me propiciaram, sem a qual eu não estaria aqui hoje.

Ao Prof. Dr. Jorge Hamada, pela orientação e grande contribuição dada.

Ao Prof. Dr. Yukio Kobayashi pelo apoio e incentivos dados.

À Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB pelos dados fornecidos, espaço e tempo disponibilizado e a todos os colegas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, trocando idéias e me incentivando.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse Trabalho.

“Equilibrí o -condição de um sistema físico no qual as grandezas que sobre ele atuam se compõem, para não provocar nenhuma mudança em seu estado.”

Fonte: Dicionário Houaiss

ÍNDICE

Resumo	iv
Abstract	v
Agradecimento	vii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xii
Lista de Siglas	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específico.....	3
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1. O chumbo (Pb)	4
3.1.1. Utilização	5
3.1.2. Formas de contaminação	6
3.1.3. Efeitos na saúde.....	7
3.2. Produção de chumbo	12
3.2.1. Fusão Primária	12
3.2.2. Fusão Secundária	12
3.3. Refino ou normalização do chumbo.....	14
3.4. Fábrica de baterias.....	15
3.4.1. Baterias chumbo-ácido.....	15
3.5. Fabricação de baterias.....	19
3.6. Monitoramentos ambientais	22
3.6.1. Ar	23
3.6.2. Águas e Sedimento	25
3.6.3. Solo.....	27
3.6.4. Vegetação.....	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1. Informações sobre a área estudada	35
4.2. Etapas necessárias para remediação de uma área contaminada.....	37
4.3. Investigações realizadas na Indústria em estudo	38

4.4. Investigação Confirmatória	40
4.4.1. Solo	41
4.4.2. Águas Superficiais e Sedimentos.....	42
4.4.3. Águas Subterrâneas.....	43
4.4.4. Vegetação.....	43
4.5. Investigação intermediária	44
4.6. Fase I – Investigação Detalhada.....	44
4.6.1. Solo.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1. Investigação confirmatória	50
5.1.1. Solo	50
5.1.2. Águas superficiais e sedimentos	57
5.1.3. Águas subterrâneas	59
5.1.4. Vegetação.....	62
5.2. Investigação intermediária	66
5.2.1. Solo.....	66
5.2.2. Ações emergenciais	69
5.2.3. Águas subterrâneas.....	72
5.3. Fase I da investigação detalhada	74
5.3.1. Solo.....	74
5.3.2. Águas superficiais e sedimentos	89
5.3.3. Águas subterrâneas	91
5.3.4. Vegetação.....	95
6. CONCLUSÕES	102
7. RECOMENDAÇÕES.....	106
8. BIBLIOGRAFIA	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição de uma bateria. Fonte: RUSSEL, 1994 (adaptação).....	16
Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo de baterias e suas principais emissões.	20
Figura 3 - Esquema de distribuição direcionada dos pontos de amostragem. Fonte: CETESB (1999).	31
Figura 4 - (A) Esquema de distribuição aleatória dos pontos de amostragem e (B) esquema de amostragem com distribuição aleatória estratificada. Fonte: CETESB (1999)	32
Figura 5 - (A) Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem utilizando-se uma malha quadrada. As áreas demarcadas são aquelas consideradas suspeitas de serem contaminadas. (B) Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem e adensamentos nos pontos previamente identificados como áreas suspeitas de contaminação (áreas sombreadas). (C) Esquema de amostragem com malha de amostragem circular (a área sombreada refere-se à fonte suspeita de contaminação). Fonte: CETESB (1999).	33
Figura 6 - Rosa de Ventos no município em questão (Jan/96 a Ago/99). Fonte: CETESB (2002)...	36
Figura 7 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 0 a 20 cm para a campanha de Investigação Confirmatória.	53
Figura 8 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 80 a 100 cm para a campanha de Investigação Confirmatória.	54
Figura 9 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de sedimento, água superficial e subterrânea para a campanha de Investigação Confirmatória.	61
Figura 10 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de vegetação para a campanha de Investigação Confirmatória.	65
Figura 11 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 0 a 2 cm para a campanha de Investigação Intermediária.	71
Figura 12 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de água subterrânea para a campanha de Investigação Intermediária.	73
Figura 13 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 0 a 2 cm na campanha de Investigação Detalhada (Fase I).	86
Figura 14 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 30 a 50 cm na campanha de Investigação Detalhada (Fase I).	87
Figura 15 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 80 a 100 cm na campanha de Investigação Detalhada (Fase I).	88
Figura 16 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de sedimento, água superficial e subterrânea na campanha de Investigação Detalhada (Fase I).	94
Figura 17 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de vegetação na campanha de Investigação Detalhada (Fase I).	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formas químicas e teores de chumbo em alguns materiais.....	6
Tabela 2 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na profundidade (0-20 cm) na campanha de investigação confirmatória	50
Tabela 3 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na profundidade (80 -100 cm) na campanha de investigação confirmatória	52
Tabela 4 - Resultados das análises das amostras de águas superficiais e sedimentos coletadas na campanha de investigação confirmatória	57
Tabela 5 - Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na campanha de investigação confirmatória	59
Tabela 6 - Resultados das análises das amostras de vegetação coletadas na campanha de investigação confirmatória	62
Tabela 7 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na campanha de investigação intermediária na profundidade de (0 – 2 cm)	66
Tabela 8 - Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na campanha de investigação intermediária	72
Tabela 9 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada na profundidade de (0 - 2 cm).....	74
Tabela 10 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada na profundidade de (30 - 50 cm).....	77
Tabela 11 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada na profundidade de (80 - 100 cm).....	78
Tabela 12 - Resultados das análises das amostras de águas superficiais e sedimentos coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada.....	89
Tabela 13 - Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada.....	91
Tabela 14 - Resultados das análises das amostras de vegetação coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada.....	95

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry/ Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças/ Órgão do Governo Americano responsável por ações relativas à saúde pública e sobre informações para prevenir exposições perigosas e doenças relativas a substâncias tóxicas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental/ Órgão Ambiental do estado de São Paulo

DOC - Carbono Orgânico Dissolvido

EPA - Environmental Protection Agency / Agência Ambiental dos Estados Unidos

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

NTS - Norma Técnica sobre Saturnismo – Instituto Nacional do Seguro Social

WHO - World Organization of Health/ Organização Mundial de Saúde

1. INTRODUÇÃO

O chumbo e seus compostos podem afetar quase todos os órgãos e sistemas do corpo humano, têm efeito acumulativo e suas formas de se manifestar dependem do grau de exposição, vias de inalação e fatores pessoais, por exemplo.

Considerando que as crianças são mais vulneráveis ao envenenamento por chumbo do que os adultos e que elas estão mais expostas, quando se observa as formas de ingresso do metal, elas constituem o grupo principal de risco, quando residentes próximas às indústrias que processam chumbo.

As principais fontes contemporâneas de chumbo são as indústrias fabricantes de baterias, tintas, armas, impressão, revestimento de cabos e dispositivos para proteger radiografias, além das fundições secundárias.

Devido à ausência de políticas bem definidas a respeito do uso do solo, estas indústrias têm em grande parte se localizado próximo a áreas residenciais, o que pode acarretar em problemas não só de contaminação ambiental, como também de contaminação da população residente próxima à indústria.

Por mais restritivos que sejam os limites de emissão destas indústrias, os quais são alcançados por meio da utilização de eficientes equipamentos de controle de efluentes atmosféricos, aliados a sistemas de tratamento de efluentes líquidos que atendam aos padrões de lançamento e de qualidade do corpo receptor, previstos na legislação, além da disposição adequada dos resíduos sólidos gerados, haverá sempre uma emissão residual de chumbo que poderá acabar dispersa no meio ambiente. Desta forma, é fundamental a realização periódica de monitoramento ambiental a fim de prever a formação de passivo ambiental e adotar medidas para intervenção na área, antes que a mesma atinja valores que indiquem ser necessária a remediação, a fim de resguardar possíveis receptores de risco.

Este trabalho pretende mostrar, através de estudo de caso, a importância do monitoramento do solo e de outros compartimentos ambientais, visto que mesmo que as emissões atmosféricas das indústrias, levantadas por meio de amostragens em

chaminés, estejam atendendo aos limites impostos pelo órgão ambiental fiscalizador, estas têm efeito cumulativo e com o decorrer dos anos podem representar um limite prejudicial ao meio ambiente e à população em geral. Poderão também ocorrer emissões de poeiras fugitivas, ou seja aquelas que fogem aos limites da indústria sem mesmo passar pelos equipamentos de controle, devido a condições inadequadas de armazenamento de materiais ou ausência de cortina vegetal, dentre outros fatores. Neste estudo serão apresentados e discutidos os trabalhos de investigação detalhada realizados nos diversos compartimentos ambientais em torno de uma indústria de processamento de chumbo, buscando-se apontar os diversos fatores que podem interferir nos resultados alcançados.

2. OBJETIVO

2.1. Geral

O objetivo deste trabalho é pesquisar e conhecer os fatores que podem interferir nos resultados dos dados coletados em campanhas de amostragens realizadas em torno de uma indústria de processamento de chumbo, e assim, buscar propor indicativos para uma metodologia a ser utilizada no desenvolvimento dessas campanhas.

2.2. Específico

Os objetivos específicos são:

1. Avaliar os procedimentos de investigação de uma área contaminada.
2. Avaliar a importância de investigar todos os compartimentos ambientais passíveis de contaminação.
3. Avaliar a influência do número de pontos amostrados, suas localizações, profundidades de amostragem, espécies amostradas e parâmetros avaliados em uma campanha de amostragem.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. O chumbo (Pb)

O chumbo é um metal pesado encontrado em estado natural em pequenas quantidades. Metais pesados são aqueles com densidade superior a 5; a densidade do chumbo é 11,35. Seus principais compostos naturais são: o sulfeto ou galena (PbS); o sulfato ou anglesita (PbSO_4); o clorofosfato ou piromorfita ($\text{Pb}_5\text{Cl}[\text{PO}_4]_3$); e o carbonato ou cerussita (PbCO_3) (RANGEL, 1988; RUSSEL, 1994).

Dentre as suas principais características tem-se que é um metal cinzento, azulado, brilhante, não elástico, mole, dúctil, maleável, trabalhável a frio, razoável condutor de calor e eletricidade. Possui baixo ponto de fusão ($327\text{ }^\circ\text{C}$), peso atômico 207,2 e ponto de ebulição a $1.717\text{ }^\circ\text{C}$, emitindo, antes desta temperatura, vapores tóxicos (SILVA, 2001).

O chumbo, como muitos dos metais pesados, é um elemento tóxico. Esta toxidez é resultado do fato de ele ser inibidor de muitas reações bioquímicas catalisadas por enzimas (ROCHA, 1973).

O chumbo é um metal de baixa resistência, porém desta e de outras características pode-se tirar vantagens. As chapas de chumbo são facilmente trabalháveis devido à alta ductibilidade e alta maleabilidade (ROCHA, 1973).

A oxidação é rápida quando o metal está fundido. Quando exposto ao ar, forma-se em sua superfície uma leve película de óxido, que o protege da corrosão atmosférica. (ROCHA, 1973).

As características citadas e a facilidade de se combinar com outros elementos, fazem do chumbo um dos 06 (seis) metais de maior emprego na indústria moderna, tanto puro como sob a forma de compostos (ROCHA, 1973).

De acordo com WHO (1995) apud PAOLIELLO (2001), as maiores fontes naturais de chumbo são emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e névoas aquáticas. As maiores fontes geológicas de chumbo são as rochas ígneas e metamórficas.

Ainda segundo WHO (1995) e ATSDR (1995) apud PAOLIELLO (2001), o chumbo ocorre numa variedade de minérios, sendo a galena (sulfeto de chumbo) a mais importante fonte primária de chumbo e a principal fonte comercial. Ocorre geralmente associado a outros minérios, principalmente aos que contém zinco.

O chumbo é utilizado na forma de metal, puro ou ligado com outros metais, ou formando compostos químicos, principalmente óxidos PAOLIELLO (2001).

Segundo PAOLIELLO (2001), o chumbo forma ligas com outros metais como antimônio, arsênio, estanho, e bismuto para melhorar suas propriedades mecânicas ou químicas.

3.1.1. Utilização

O chumbo é um dos metais mais antigos usados pelo homem. É empregado principalmente na fabricação de baterias, composição de tintas, fabricação de armas, impressão, revestimento de cabos e dispositivos para proteger radiografias (ROCHA, 1973; ATSDR, 1999).

Apesar de em alguns países (RANGEL, 1988 ; RUSSEL, 1994) ainda ser adicionado na gasolina, na forma do tetraetilchumbo (C_2H_5)₄Pb, para atuar como aditivo antidetonante, segundo a ATSDR (1999), este uso, assim como a utilização do chumbo na fabricação de tintas, produtos cerâmicos, de calafetação, e soldagem de tubos tem sido dramaticamente reduzido nos últimos anos devido às preocupações com a saúde da população em geral.

De acordo com PAOLIELLO (2001) as fontes naturais de chumbo contribuem muito pouco para as quantidades do metal no ar, alimento, água e poeira. A maior parte do chumbo encontrado nestes meios surge de emissões provenientes de automóveis (nos locais em que o metal ainda é usado na gasolina) e das fontes industriais.

Para mostrar como o chumbo está presente em diversos processos industriais, EGREJA (1993) preparou a Tabela 1 com as formas químicas e os teores de chumbo presentes em alguns materiais, conforme se observa a seguir.

Tabela 1 - Formas químicas e teores de chumbo em alguns materiais.

Constituinte	Fórmula química	Teor (µg/g)
Papel: pigmentos e branqueamento	PbO, PbSO ₄	220
Tecido: pigmentos, botões e zíperes	PbO, PbCrO ₄	70
Couro: fungicida e bactericida	-	-
Borracha: estabilizante e pigmentos	PbSO ₄ , PbO	*
Plásticos: estabilizante e pigmentos	PbSO ₄ , PbO	330
Vidros: pigmentos	PbO, Pb	56
Metais ferrosos	Pb-Sn (solda)	3064
Metais não-ferrosos	Ligas PbO	68
Pilhas e baterias	ZnPb	*

* A composição varia bastante, portanto é difícil mensurar um valor.

3.1.2. Formas de contaminação

Em consequência de sua ampla utilização industrial, o chumbo pode se tornar um contaminante ambiental. Em virtude disto, a exposição ocupacional e ambiental ainda é uma grande preocupação (Norma Técnica sobre Saturnismo, 2000).

Além da exposição ocupacional, diversas pessoas poderão estar inadvertidamente expostas em função de contaminação ambiental (ar, solo e água contaminados). Há também a contaminação denominada para-ocupacional que ocorre em familiares de indivíduos expostos ocupacionalmente (LARINI, 1997; Norma Técnica sobre Saturnismo, 2000).

Assim, além da população que trabalha em locais que utilizam o chumbo em seu processo, a população que vive próxima a estas indústrias ou que fazem uso de cosméticos e remédios, que tem o chumbo em sua composição, por exemplo, correm riscos de contaminação por chumbo (ATSDR, 1999).

Qualquer pessoa pode vir a ser contaminada por chumbo se ingerir alimento ou água contaminada, ou trabalhar em locais onde o chumbo é utilizado, por exemplo. O chumbo é uma substância tóxica acumulativa.

3.1.3. Efeitos na saúde

A exposição ao chumbo ou seus compostos pode levar ao saturnismo ou intoxicação por chumbo, que apresentará diversas formas de se manifestar conforme o grau de exposição, vias de inalação, e fatores pessoais, por exemplo, podendo apresentar-se como quadro agudo ou crônico, conforme a intensidade e duração dos sinais e sintomas. (NTS, 2000).

O chumbo pode afetar quase todos os órgãos e sistemas do corpo humano. O mais sensível é o sistema nervoso central, particularmente nas crianças. O chumbo se acumula nos rins, fígado, cérebro e, principalmente, nos ossos (ATSDR, 1999).

Em níveis elevados, o chumbo pode diminuir o tempo de reação, causando fraqueza nos dedos, pulsos, ou tornozelos, e possivelmente afetando a memória, além de danificar o sistema reprodutivo masculino. O chumbo pode causar anemia e uma desordem do sangue, visto que interfere em diferentes sistemas de enzimas: inativando algumas enzimas ou deslocando metais essenciais. A conexão entre estes efeitos e a exposição a baixos níveis de chumbo é incerta (ATSDR, 1999).

Em casos de intoxicação aguda e subaguda poderão ocorrer náuseas, vômitos, dores abdominais, diarreia, febre, excitação, convulsões, alterações renais, cardíacas e hepáticas, irritações dos olhos e vias respiratórias, dermatites de contato e sensibilização na pele (SIMONETTI, 2000).

Já em casos de intoxicação crônica poderão ocorrer anorexia, náuseas, vômitos, gosto metálico na boca, salivação, constipação, cólica saturnina, diminuição de algumas enzimas essenciais, distúrbios hematológicos, encefalopatia saturnina, cefaléia, insônia, convulsão mental, delírios, tremores e linha gengival escura nas bordas dentárias (MAZUR, 1997; SIMONETTI, 2000).

As crianças são mais vulneráveis ao envenenamento por chumbo do que os adultos. Uma criança que ingere quantidades elevadas de chumbo (através da

ingestão de pedaços de pintura velha a base de chumbo, por exemplo) pode desenvolver anemia de sangue, inflamação severa no estômago, fraqueza muscular e danos no cérebro. Se uma criança ingere quantidades menores de chumbo, podem ocorrer efeitos menos severos no sangue e no funcionamento do cérebro. Até mesmo níveis muito mais baixos de exposição ao chumbo podem afetar o crescimento mental e físico de uma criança (ATSDR, 1999).

A exposição ao chumbo é muito perigosa em crianças por nascer. As crianças por nascer podem ser expostas ao chumbo pelas mães. Efeitos prejudiciais incluem nascimentos prematuros, bebês menores, habilidade mental diminuída na criança, que aprendem com dificuldades, e crescimento reduzido. Estes efeitos são mais comuns se a mãe ou bebê foram expostos a níveis altos de chumbo (ATSDR, 1999).

Já crianças em idade pré-escolar constituem, de modo geral, o grupo de maior risco devido às seguintes razões: contato oral excessivo com objetos e solos contaminados, além de maior relação exposição/peso corporal do que os adultos; menor “altura respiratória”, que permite aspiração de maiores quantidades de material particulado em suspensão; e maior absorção relativa do que os adultos, em consequência do metabolismo mais intenso (PAOLIELLO, 1997).

Desta forma WHO (1995) apud PAOLIELLO (1997), relata que vários estudos realizados em áreas próximas às fundições demonstram que a ingestão oral de chumbo, através de solo e poeira contaminados, constitui uma importante via de exposição para crianças.

De acordo com OSSANAI (1980) apud CETESB (1995), mesmo quando as exposições são breves a presença do chumbo no organismo pode ser prejudicial e até letal.

QUEIROZ et al (1994) apud CETESB (1995), afirma que a cinética da distribuição do chumbo é complexa e as principais características são rapidez, transferência para os ossos e diminuição progressiva na porcentagem de excreção. Desta forma, a concentração de chumbo no sangue, denominada chumbo no sangue, é usada como um indicador da exposição recente ao chumbo. Por convenção, a concentração de chumbo no sangue é expressa em micrograma por decilitro ($\mu\text{g}/\text{dl}$) e adota-se o símbolo PbS.

Em um estudo NORDMAN et al (1973) apud CETESB (1995) encontraram uma relação estatisticamente significativa entre os valores de chumbo no sangue de moradores, nas vizinhanças de uma fundição secundária de chumbo, e a distância de suas residências à fonte de emissão, ficando comprovado o aumento de chumbo sanguíneo, acompanhado da diminuição da atividade da α -ALAD (enzima envolvida na síntese da hemoglobina) com a maior proximidade da fonte.

Como já citado anteriormente, o processo de absorção do chumbo proveniente de fontes ambientais, depende da quantidade do metal que ingressa no organismo, do estado físico e químico, além de fatores relacionados ao hospedeiro, como idade, estado fisiológico, condição nutricional e, possivelmente, fatores genéticos PAOLIELLO (2001).

Quanto aos efeitos nos animais, segundo HATH (1977) apud CETESB (1995), a toxicidade do chumbo vai depender de alguns fatores, tais como:

- **Idade** – animais jovens são mais sensíveis;
- **Espécie** – cabras, porcos e galinhas são mais resistentes
- **Estágio reprodutivo** – ovelhas prenhas são mais sensíveis do que as não prenhas;
- **Taxa de ingestão** – a ingestão de grandes quantidades por 1 ou 2 dias pode causar a morte, mas a ingestão de pequenas quantidades por um período maior, semanas ou meses pode não levar à morte;
- **Forma do chumbo** – chumbo sólido é menos tóxico do que sais solúveis, os quais são absorvidos rapidamente;
- **Via de entrada** – somente 1 ou 2% do chumbo ingerido pode ser absorvido; o chumbo inorgânico penetra lentamente na pele, mas as formas orgânicas, tais como chumbo tetraetila e chumbo tetrametila, são absorvidas rapidamente através da pele;
- **Estado geral de saúde** – animais mal alimentados, mal instalados e com parasitas são mais sensíveis.

Estudo realizado por CETESB (1995) mostrou que uma dieta baseada só em capim, aliada à menor distância entre o sítio e a indústria, explicaria os elevados valores de chumbo encontrados nos animais deste sítio.

Segundo estudo feito por PRPIC-MAJIC et al. (1990) apud CETESB (1995), utilizando bovinos vizinhos a uma indústria de fundição de chumbo e em uma área de controle, os animais que ocupam pastagens estão diretamente expostos a contaminação ambiental por chumbo dos diferentes meios (ar, água, solo), sendo os melhores indicadores dos níveis reais de poluição por chumbo.

Vários estudos sobre a exposição ocupacional ao chumbo (ULENBELT et al, 1990 apud ARAÚJO, 1999), procuram correlacionar os níveis de chumbo no sangue (Pb-S) e de chumbo no ar (Pb-Ar). Nestes estudos, os principais fatores que influenciaram esta relação foram: o tamanho e a solubilidade das partículas, a ventilação pulmonar, as diferenças metabólicas individuais.

Além desses fatores, as diferenças de comportamento e de higiene entre os trabalhadores, as condições diferenciadas no uso das máscaras de proteção individual, o hábito de fumar, entre outros, promovem uma absorção diferenciada de chumbo, que se reflete nos níveis de Pb-S, até para uma mesma concentração de Pb-Ar (ARAÚJO, 1999).

Assim, ARAÚJO (1999) observou que além do elevado nível de Pb-Ar e do uso descontínuo ou inadequado das máscaras, as condições dos locais de trabalho observadas (altas temperaturas e ventilação impróprias), explicaram os altos níveis de Pb-S encontrados.

O problema básico da contaminação observada nas fábricas e recicladoras de baterias está na emissão e na dispersão de poeira contendo chumbo por todo o ambiente de trabalho, contaminando o ar, as superfícies (chão e bancadas), as roupas e mãos dos trabalhadores, facilitando a sua absorção. Assim a culpa pela contaminação, normalmente atribuída ao trabalhador, depende, na realidade, do processo de fabricação e das condições do local de trabalho e da manutenção de um ambiente insalubre e inadequado (ARAÚJO, 1999).

LIMA (1996) sugere que os valores de referência utilizados para avaliação dos teores máximos de chumbo no organismo seja atualizado, com base em estudos

nacionais e/ou internacionais, uma vez que para os valores estabelecidos para IBMP (Índice Biológico Máximo Permitido) e até para os valores estabelecidos como normais, estão associadas alterações subclínicas.

No Brasil encontram-se em estudos valores de referência para o Pb-S entre 2,54 µg/dl – 15,44 µg/dl (PAOLIELLO et al., 1993 apud LIMA, 1996). Outros estudos apresentam concentrações entre 4,0 µg/dl – 27,6 µg/dl e de 15 – 20 µg/dl (APOSTOLI & ALESSIO, 1992 apud LIMA 1996).

O último estudo mostrou que, ao se aplicar somente os parâmetros previstos na NR7 e NR15 (Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho), se permite que os trabalhadores permaneçam em ambientes insalubres, onde a exposição com efeito cumulativo do chumbo, vai minando lenta e silenciosamente a saúde dos trabalhadores, até a sua incapacitação definitiva, não só para trabalhar, mas para gozar a vida plenamente LIMA (1996).

Em 1992, baseado em evidências que mostravam a ocorrência de alguns efeitos adversos em níveis tão baixos quanto 10 µg/dL, o CDC (Agência de Saúde Americana) e a Organização Mundial de Saúde adotaram esse valor como guia ou nível de ação oficial (PAOLIELLO, 2001).

PRPIC-MAJUC et al. (1992) apud QUITÉRIO (2001), observando o elevado nível de chumbo no sangue de populações que residem nas proximidades de áreas industrializadas, quando comparadas com populações de áreas isoladas, verificou o impacto da poluição ambiental do chumbo. Fazendo analogia com o trabalho de vários pesquisadores que têm avaliado os efeitos desta exposição, particularmente em crianças e jovens, que são mais sensíveis a este metal, verificou que os efeitos adversos podem ocorrer em níveis de exposição antes considerados seguros. Assim, o monitoramento biológico e ambiental, realizado em tempo adequado, é uma medida objetiva, a qual deve ser conduzida antes da introdução de um efetivo sistema de controle da poluição.

3.2. Produção de chumbo

3.2.1. Fusão Primária

O chumbo usado nas indústrias fabricantes de baterias pode ser obtido por meio de fusão primária ou secundária. A fusão primária se dá a partir do próprio minério, normalmente a galena, pois como já afirmado por ROCHA (1973), poucos minérios de chumbo são tão ricos ou tão livres de impurezas para que possam ser fundidos imediatamente: conseqüentemente, o primeiro passo na conversão do minério em metal ou compostos, é a separação física dos minérios de chumbo de outros valiosos minérios para evitar a perda de material. O chumbo é recuperado de seu minério quase exclusivamente por fundição.

O chumbo produzido no país é subproduto da produção de zinco. No momento o país está desprovido de jazimento de chumbo que contenha teor, quantidade e qualidade do minério para direcionar a exploração da mina. Este fato, torna o país um importador do metal semimanufaturado, pois as usinas metalúrgicas que beneficiavam o concentrado foram desativadas em dezembro de 1995 (SILVA, 2001).

As reservas brasileiras são pequenas, principalmente quando comparadas com as reservas dos três maiores produtores do mundo: Austrália, China e Estados Unidos. As principais ocorrências no Brasil localizam-se nos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, sendo encontrado ainda no Paraná, Bahia e São Paulo (SILVA, 2001).

3.2.2. Fusão Secundária

De acordo com dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a produção de chumbo no Brasil refere-se exclusivamente ao chumbo secundário (DNPM, 2001).

Na fusão secundária, o chumbo é recuperado a partir de sucatas de baterias, na sua maior parte, e outros componentes como os pós retidos nos filtros de tecido dos equipamentos de controle de poluição atmosférica, por exemplo.

Estes materiais são coletados, têm seus componentes de chumbo separados, são refundidos e refinados em fundição secundária, para a produção de ligas de chumbo refinado ou outras ligas à base de chumbo.

As baterias são a maior fonte de chumbo secundário atingindo 90% da sucata consumida (SILVA, 2001). Nos Estados Unidos, a coleta dos acumuladores usados é bem organizada e a preparação para a fundição se faz em bases eficientes. O chumbo secundário é geralmente recuperado como chumbo antimônio, 56%; como chumbo mole, 25%; e em outras ligas de chumbo e cobre, 19% (ROCHA, 1973).

As indústrias que fazem as atividades de obtenção do chumbo por meio de fusão secundária, são chamadas de recicladoras de baterias (RB). As operações destas indústrias são potencialmente mais poluentes do que as atividades das indústrias fabricantes de baterias, porque trabalham com fornos em temperaturas muito elevadas e com material com muitas impurezas.

Segundo JOST (2001), citado por PAOLIELLO (2001), na reciclagem de baterias chumbo-ácido, estão envolvidos três processos: quebra da bateria, redução e refinamento do chumbo.

O processo de abertura e quebra da bateria, também chamado de pré-tratamento, consiste em separar as placas e terminais das caixas de ebonite. Este processo pode ser manual ou mecânico. Dependendo do processo de abertura e quebra da bateria, as fontes comuns de impacto ambiental são: poeiras contaminadas com chumbo e eletrólito ácido; chumbo particulado e detritos contaminados.

O processo de redução ou fusão do chumbo consiste em isolar o chumbo metálico da mistura de várias substâncias obtidas da sucata de bateria: chumbo metálico, óxido de chumbo (PbO), sulfato de chumbo (PbSO₄) e outros metais como cálcio, cobre, prata antimônio, arsênio e estanho. De acordo com a CETESB (1995) e SIMONETTI (2000), para obtenção deste chumbo metálico são colocadas nos fornos rotativos as matérias-primas desta etapa, que são: placas de baterias, sucata de ferro, carvão mineral ou vegetal, calcário ou barilha. Estes fornos trabalham com temperaturas em torno de 1100 °C, por um período de 6 a 8 horas.

A principal fonte de poluição atmosférica nas indústrias de fusão secundária de chumbo é o forno de fusão. As demais fontes de emissão são: armazenamento de

matérias-primas, transporte do material particulado e fumos retidos nos equipamentos de controle, forno de refino e movimentação de veículos (CETESB, 1995).

Face à elevada concentração de partículas de baixa micragem emitida pelo forno de fusão, ou seja, abaixo de 5 microns (inaláveis), é necessária a instalação de equipamentos de controle de alta eficiência. Enquadram-se nesta condição os filtros de tecido, precipitadores eletrostáticos e lavador venturi em série com eliminador de gotas (CETESB, 1995).

Dentre as fontes comuns de impacto ambiental do processo de fusão, JOST (2001) citado por PAOLIELLO (2001), destacam-se: rejeitos contaminados com chumbo, poeira contaminada com chumbo (dos filtros), emissão de SO₂, emissão de compostos clorados e produção de escória. Em média, cerca de 300 – 350 kg de escória são gerados para cada tonelada de chumbo metálico, e cerca de 5% desta escória são compostos de chumbo.

3.3. Refino ou normalização do chumbo

De acordo com JOST (2001), citado por PAOLIELLO (2001), o objetivo do processo de refinamento é remover quase todo o cobre, antimônio, arsênio e estanho restantes, transformando o chumbo duro ou antimonial, em chumbo mole. Este processo pode ser muito poluente se nenhuma medida de controle for tomada. Algumas fontes de impacto ambiental no processo de refinamento do chumbo são: emissão de vapores de chumbo, emissão de SO₂, produção e remoção de uma poeira seca e fina com um percentual alto de chumbo e outros metais, além da liberação do gás cloro (Cl₂).

O processo de remoção dos componentes indesejados se dá mediante a refusão do chumbo e a adição de alguns componentes como enxofre, cloreto de sódio, nitrato de sódio e hidróxido de sódio, os quais reagem com os elementos a serem removidos, formando uma fina camada superficial, denominada borra, que é removida via escumação (CETESB, 1995).

Após o refino, são realizadas as operações referentes ao acerto das ligas, cuja finalidade é aumentar o teor de determinado elemento para a posterior produção de óxidos (lingotes de chumbo mole ou chumbo puro - teor de chumbo em torno de 99,9%), como para a fabricação de grades e das pequenas peças (lingotes de chumbo duro ou chumbo liga - teor de chumbo em torno de 95%) (CETESB, 1995).

Este processo de acerto das ligas, comumente chamado de normalização, consiste na refusão do chumbo e na adição de chumbo rico no componente de liga desejado, comumente antimônio, arsênio e estanho. Os fornos utilizados na fase de refino e normalização são do tipo cadinho, aquecidos externamente a gás ou óleo combustível, e operam a uma faixa de temperatura de 350 a 650 °C (CETESB, 1995).

Nesta fase o chumbo é colocado na especificação adequada a ser utilizada em cada fábrica de baterias, visto que a quantidade de cada elemento (chumbo, antimônio, selênio e cálcio, dentre outros) varia de fabricante para fabricante.

Nestes setores de refino e normalização de lingotes de chumbo são produzidos os lingotes destinados aos demais setores da indústria: fabricação de grades, produção de pasta de óxido de chumbo e fabricação de bornes e demais peças.

Cabe ressaltar que não é toda indústria fabricante de baterias que possui licença para refinar o chumbo, pois esta atividade é potencialmente muito poluidora. Se a indústria não possui licença para a atividade de refino do chumbo, ela deverá adquirir os lingotes de chumbo especificações adequadas para cada setor específico da fábrica.

3.4. Fábrica de baterias

3.4.1. Baterias 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 chumbo-ácido, veja na Figura 1.

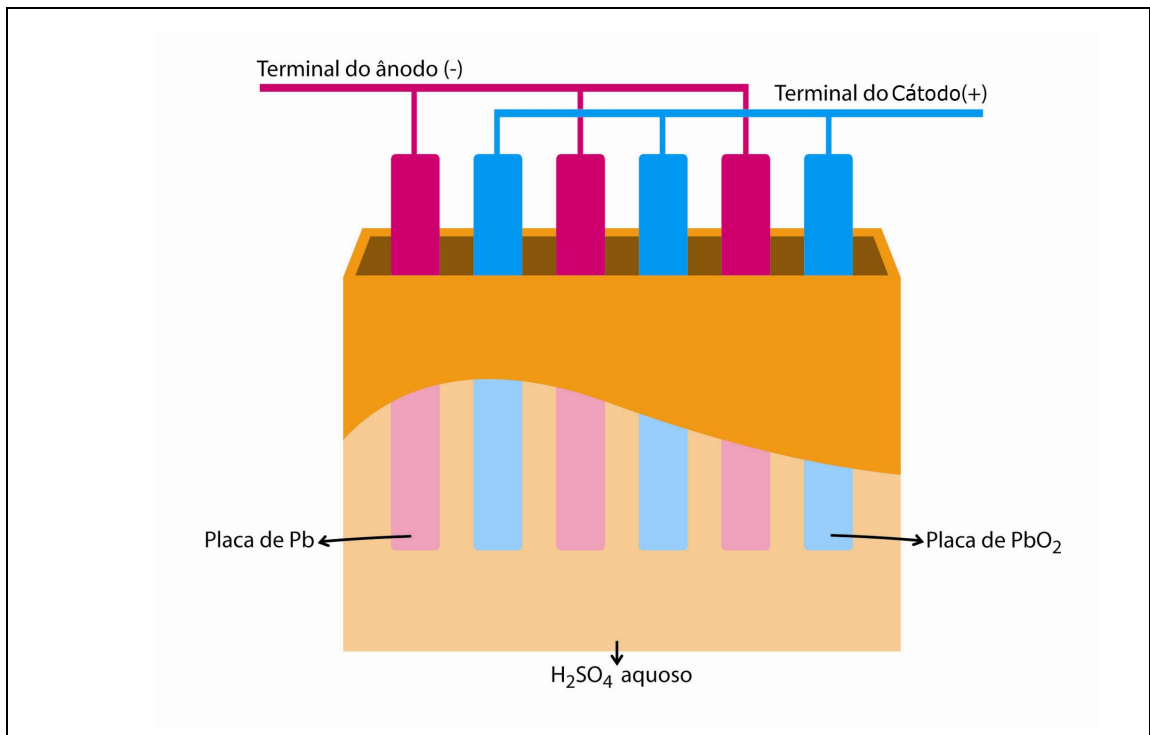


Figura 1 -Composição de uma bateria. Fonte: RUSSEL, 1994 (adaptação).

Uma bateria é um sistema (RUSSEL, 1994) que transforma energia química em energia elétrica, de forma espontânea, durante a descarga. Segundo PAOLIELLO (2001) as baterias de chumbo-ácido utilizam reações químicas reversíveis, podendo ser recarregadas. Em termos do mecanismo de seu funcionamento, tem-se, segundo ROCHA (1973), que a bateria chumbo-ácido é constituída basicamente por grades de liga chumbo-antimônio, compactada com uma pasta de compostos de chumbo. Esses compostos de chumbo submetidos a uma corrente elétrica, quando imersos em ácido sulfúrico, sofrem uma mudança química, que resulta no armazenamento de eletricidade. Além disso, o chumbo contido na liga permite às grades resistirem à corrosão ácida e conduzirem eletricidade. O antimônio é adicionado ao chumbo para aumentar a sua resistência mecânica e para poder suportar as condições mecânicas de uso, tais como as vibrações dos automotores.

Já em termos dos seus componentes, tem-se, segundo RUSSEL (1994), que a bateria de chumbo-ácido é aquela bateria de acumuladores que tem eletrodos gradeados de chumbo. É uma série de caixas de ebonite, cheias de eletrólito, no

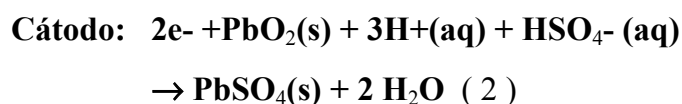
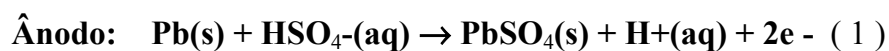
interior das quais estão suspensas as placas metálicas positivas e negativas. Estas placas são colocadas alternadamente: as negativas são de chumbo poroso e as positivas de peróxido do mesmo metal. O contato entre as placas de polaridades diferentes é impedido pela ação de isoladores, colocados entre as placas adjacentes.

Quando as grades estão preenchidas com pastas de chumbo metálico ou óxido de chumbo, elas são denominadas placas. O chumbo usado nas placas podem conter uma série de outros elementos químicos, tais como antimônio, arsênio, bismuto, cádmio, cobre, cálcio, prata e estanho. Alguns destes elementos são provenientes do próprio minério de chumbo, outros são adicionados durante o processo de fabricação das grades ou das pastas a fim de dar algumas características ao produto (RUSSEL, 1994).

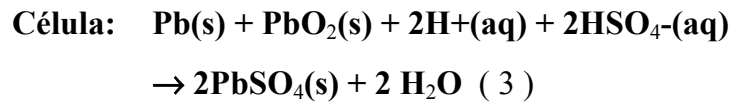
Cada grupo de placas de mesma polaridade é ligado por barras metálicas que as unem mecânica e eletricamente aos terminais positivo e negativo da bateria. O eletrólito é uma solução composta de água destilada e ácido sulfúrico puro na proporção de 2,75 para 1 em volume (RUSSEL, 1994).

Segundo BURGUESS (1995), apud PAOLIELLO (2001), quando a bateria fornece energia elétrica para um dispositivo externo, várias reações químicas ocorrem ao mesmo tempo. O eletrodo negativo está na forma de chumbo metálico e o eletrodo positivo é de dióxido de chumbo (PbO_2). O eletrólito para esse sistema de bateria é uma solução aquosa de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Na placa positiva (cátodo) uma reação de redução ocorre quando o PbO_2 é convertido em sulfato de chumbo (PbSO_4). Por outro lado, nas placas negativas (ânodo) uma reação oxidativa ocorre e o chumbo metálico é convertido em sulfato de chumbo. O eletrólito (H_2SO_4) fornece íons sulfato para ambas as reações e age como uma ponte química entre elas. Para cada elétron gerado no ânodo, existe um elétron consumido no cátodo.

Assim, RUSSEL (1994) explica as reações citadas acima de forma simplificada, por meio das reações mostradas nas equações 1 e 2.



Quando em operação, com passagem de corrente, a reação global na bateria de chumbo é a reação mostrada na equação 3.



Assim, PbSO_4 é produzido em ambos os eletrodos, à medida que a célula se descarrega. Simultaneamente, H^+ e HSO_4^- (os íons do ácido sulfúrico, H_2SO_4) são removidos da solução.

A condição de uma bateria de chumbo pode ser acompanhada por medidas de densidade da solução de H_2SO_4 . Numa célula completamente carregada, a concentração e a densidade de uma solução de H_2SO_4 são altas; na célula descarregada, a solução de H_2SO_4 é mais diluída e a sua densidade, portanto, menor (RUSSEL, 1994).

O chumbo é um dos poucos metais que resistem à ação prolongada do ácido sulfúrico concentrado, por isso todas as partes condutoras de corrente nas células são feitas de chumbo ou ligas de chumbo (SIMONETTI et al, 2000).

Dados práticos, junto a uma indústria fabricante de baterias, mostram que tomando-se uma bateria padrão (12 placas), a qual é utilizada em automóveis de passeio tamanho médio, o peso úmido (com solução ácida) da bateria é de aproximadamente 15,50 kg. Desta forma, tem-se que tirando a solução ácida (aproximadamente 4,00 kg), o monobloco e sua tampa (aproximadamente 950 g), e os separadores e calços plásticos (220 g), obtém-se o peso total dos componentes de chumbo, que equivale a 10,33 kg.

Assim, considerando uma perda de 20% de chumbo durante o processo de fabricação, tem-se que para fabricar uma bateria é necessário cerca de 12,91 kg de chumbo.

Considerando que este material perdido é matéria-prima e que pode estar indo para o meio ambiente, seja por meio de emissões atmosféricas (fugitivas ou provenientes de equipamentos de controle de poluentes), por meio de efluentes líquidos industriais ou ainda por meio dos resíduos sólidos gerados no processo; é

extremamente importante a conscientização sobre a eficiência de controle de todas as emissões de uma fábrica de baterias.

3.5. Fabricação de baterias

O processo industrial da fabricação de baterias inicia-se com a chegada dos lingotes de chumbo bruto ou refinados, de acordo com a indústria.

Se a indústria não possui licença para a atividade de refino do chumbo, ela deverá adquirir os lingotes de chumbo com grau de pureza superior a 99,5% de chumbo puro. Este tipo de indústria fará apenas a formação das ligas, que consiste em adicionar os componentes necessários para a produção dos lingotes para cada setor específico da fábrica.

Os componentes usados comumente são antimônio, estanho e arsênio, dentre outros, sendo que o antimônio é responsável pela dureza da liga formada.

Neste setor são formados os lingotes para a produção de grades, de óxidos e dos bornes (conectores).

O processo de fabricação de baterias consiste em 02 (duas) linhas de produção em paralelo: a produção da pasta de óxido de chumbo e a produção das grades e pequenas peças de chumbo, passando, a seguir para os seguintes setores produtivos: produção de óxidos, produção de grades, empastação, fundição de pecinhas, montagem e formação. A Figura 2 apresenta o fluxograma básico da produção de baterias.

Produção de Óxidos de Chumbo: Os lingotes de chumbo “mole” (chumbo-puro) são fundidos nos fornos cadinhos, sendo o chumbo líquido alimentado na cilindradeira para produção de “pequenos cilindros” de chumbo. Os cadinhos de fusão do chumbo que alimentam a cilindradeira trabalham a uma temperatura média em torno de 400°C, já os moinhos trabalham a uma temperatura média em torno de 200°C.

Os cilindros de chumbo ficam armazenados provisoriamente nos silos. Dos silos, os cilindros seguem para os moinhos, onde o atrito entre os cilindros resulta em aumento de temperatura no interior do moinho, e conseqüentemente na oxidação da superfície dos cilindros de chumbo com o ar, resultando em pó de óxido de chumbo.

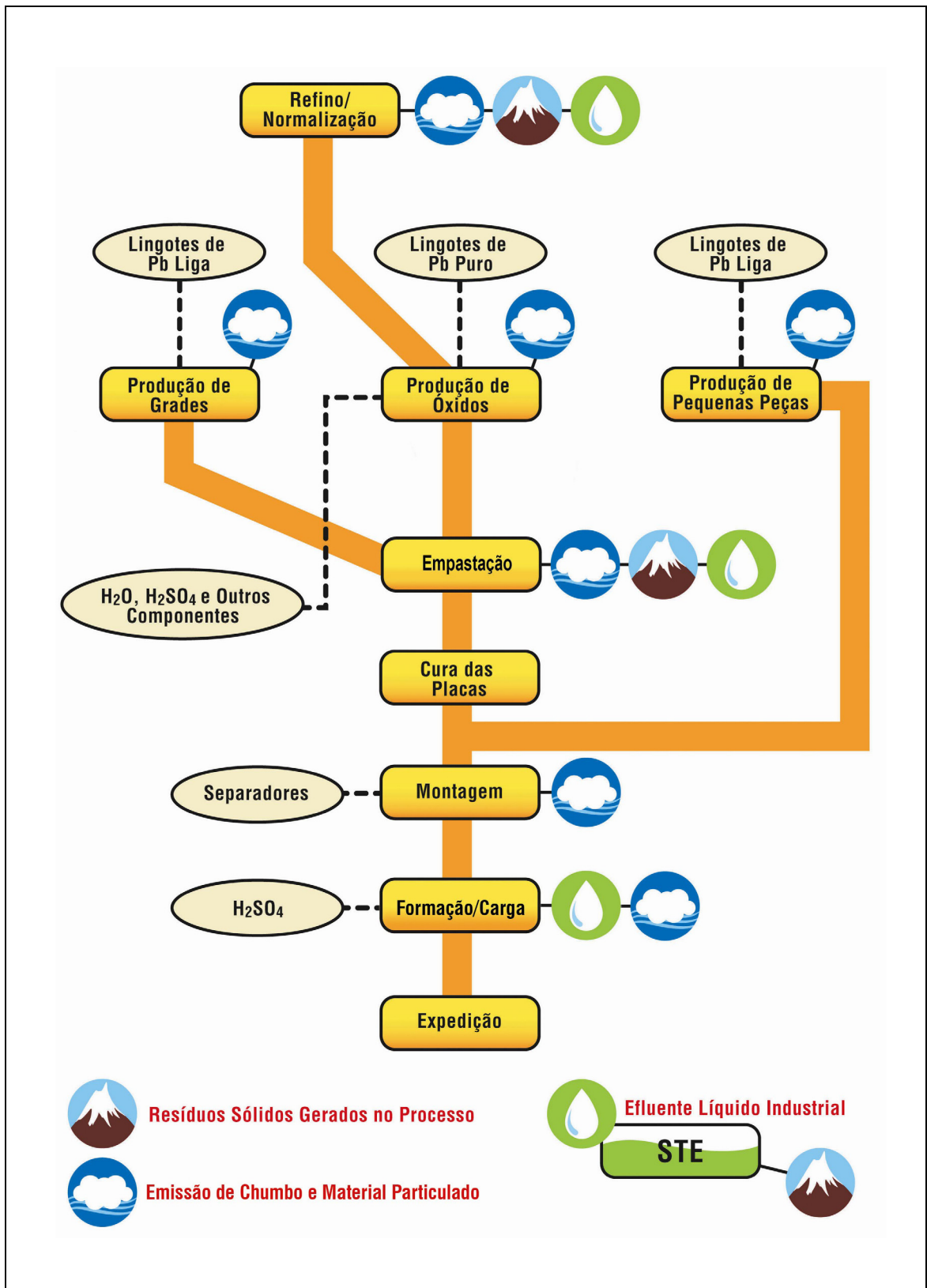


Figura 2 - Fluxograma do processo produtivo de baterias e suas principais emissões.

O pó de óxido de chumbo formado nos moinhos é encaminhado para silos através de elevador de canecas. Este processo dura cerca de 24 horas.

Produção de Grades: Em paralelo segue o processo de fundição de grades de chumbo. Os lingotes de chumbo-liga (selênio ou antimônio) são fundidos em fornos cadinho e alimentam automaticamente os moldes metálicos para produção de grades de chumbo, as quais, a seguir, são encaminhadas para a seção de empastação. Os cadinhos de fusão das fundidoras de grades trabalham a uma temperatura média de 480°C.

Produção de Peças Pequenas de Chumbo: Em paralelo, segue também, o processo de fundição de bornes, pólos e terminais. Os lingotes de chumbo são derretidos nos fornos cadinho para alimentar as coquilhas (moldes metálicos) para a produção de pequenas peças para baterias. Para a produção destes componentes são utilizados lingotes de chumbo-antimônio, por ser mais duro.

Pasta de Óxidos de Chumbo: A pasta de óxido de chumbo formada nos moinhos é carregada na masseira (misturador) para mistura com água, ácido sulfúrico e outros insumos (a depender da indústria), formando a pasta negativa. A pasta positiva é a própria pasta de óxido de chumbo formada, sem insumos. Da masseira, a pasta formada segue para a empastadeira.

Empastadeira: Nesta etapa as grades de chumbo são preenchidas com pasta de óxido de chumbo e passam por processo de secagem na empastadeira, resultando em placas de baterias. As grades empastadas passam por um controle de qualidade, que consiste em pesá-las, a fim de se verificar se a quantidade de pasta de óxido de chumbo nas grades está adequada.

Cura: As placas (grades empastadas) são encaminhadas para o processo de cura em câmaras, com controle de temperatura por resistência elétrica. Posteriormente as placas são enviadas para o setor de montagem das baterias.

Montagem das Baterias: A seguir vem a linha de montagem, onde as placas são colocadas em separadores, que podem ser de plástico ou de celulose, e unidas em pacotes, alternando placas positivas e negativas. O tamanho e a quantidade de pacotes dependerá do modelo de bateria a ser fabricado. Em seguida, estes pacotes são soldados, soldagem esta que pode ser manual ou mecânica. Nesta linha de

montagem acontece a soldagem dos terminais, pólos, bornes e a tampa da caixa. A seguir são realizados os testes de vazamento.

Formação e carga: As baterias montadas são, então, enviadas para a sala de carga, onde são preenchidas com solução de ácido sulfúrico e água (geralmente na proporção de 35% de ácido). Em seguida é aplicada carga elétrica conforme a especificação da bateria a ser formada, processo este que dura cerca de 24 horas. Sendo, na seqüência, realizados os testes elétricos.

Expedição: As baterias carregadas de eletricidade são encaminhadas para embalagem e expedição, onde recebem os rótulos e são embaladas em fardos.

Segundo ROCHA (1973), para a fabricação de baterias são utilizadas ligas de chumbo com 5 a 12% de antimônio e ocasionalmente até 0,25% de estanho. Razão esta que, justifica porque no monitoramento do solo é investigada a possibilidade de ocorrência destes metais. Assim como são investigados outros metais como o cobre e o mercúrio, por exemplo, que podem entrar no processo como impurezas do lingote de chumbo adquirido.

3.6. Monitoramentos ambientais

Os problemas de contaminação ambiental em uma indústria de reciclagem de baterias poderão ser minimizados se a indústria tiver equipamentos de controle de poluição atmosférica dimensionados adequadamente para as suas fontes, um bom sistema de ventilação industrial, fizer a umectação do solo para evitar a ressuspensão de material contaminado, recircular ao máximo as águas utilizadas no processo industrial, e quando do descarte, encaminhá-las para sistemas eficientes de tratamento das águas industriais, de forma a atender os limites estabelecidos em legislação, além de destinar adequadamente todos os resíduos sólidos gerados no processo industrial, enviando-os para locais licenciados e/ou aprovados pelo órgão ambiental do estado.

Até bem pouco tempo maior atenção era dispensada aos monitoramentos atmosféricos e das águas superficiais, talvez por se pensar que seriam os primeiros

meios atingidos, vindo a colocar em risco a população local, seja por respirar partículas de chumbo suspensas na atmosfera ou por ingerir água contaminada.

Hoje, sabe-se que mesmo que estes meios estejam sob controle quanto ao teor de chumbo presente, a população poderá estar exposta ao elemento se o mesmo estiver presente no solo, nas águas subterrâneas e/ou vegetação.

Desta forma, tem-se procurado realizar o monitoramento ambiental destes compartimentos, visto que tendo o chumbo efeito cumulativo, emissões provenientes de fontes controladas (teores de chumbo inferiores aos padrões adotados) poderão se acumular na vegetação e no solo, além de atingir as águas subterrâneas.

3.6.1. Ar

As emissões atmosféricas provenientes dos fornos deverão ser encaminhadas por meio de chaminés para equipamentos de controle de poluentes. Os equipamentos de controle de poluentes mais amplamente usados são os filtros de mangas e os lavadores de gases. Estes equipamentos devem ser dimensionados para atender os limites de emissão estabelecidos para chumbo, material particulado (MP) e SO₂, pelo órgão ambiental.

O monitoramento por meio de amostragens de chaminés deve ser feito periodicamente, a cada seis meses ou no máximo em um ano e sempre que houver alterações no processo de produção.

É muito importante a instalação de um sistema de ventilação local exaustora eficiente para que não ocorram poeiras fugitivas, que, devido a um sistema de captação ineficiente, não são encaminhadas devidamente aos equipamentos de controle e são transportadas pela ação do vento, chegando a se depositar a quilômetros de distância da fonte geradora.

Este sistema deverá ser projetado de acordo com os critérios de engenharia de ventilação industrial, visando obter vazões adequadas de exaustão nos pontos de emissão, para evitar escape de poluentes. O balanceamento do sistema é importante, assim como a correta seleção do ventilador, o qual deverá movimentar a vazão

especificada e fornecer energia necessária, inclusive aquela destinada aos equipamentos pré-coletores e de controle de poluentes (CETESB, 1995).

Uma ação eficiente para minimizar a dispersão de poluentes pela ação do vento é o umedecimento do solo, com a finalidade que estas poeiras fugitivas não entrem em ressuspensão, evitando assim que sejam inaladas ou depositadas em solo próximo.

O transporte e a dispersão das partículas contendo chumbo na atmosfera, dependem principalmente, da altura da chaminé onde se dá a emissão, condições dos movimentos atmosféricos e dos tamanhos das partículas, sendo que as partículas de diâmetro maiores que 1 a 2 μm tendem a se depositar próximo às fontes emissoras. A emissão dessas partículas pode também ser proveniente de poeiras fugitivas (CETESB, 1995).

A depender do tamanho da partícula quando o chumbo é lançado ao ar, pode percorrer longas distâncias antes de se depositar no solo (ATSDR, 1999). Desta forma, o chumbo tem sido encontrado em locais distantes das fontes de liberação, indicando que um transporte atmosférico longo pode ter ocorrido.

Assim, LANDRIGAN et al. (1975) apud QUITÉRIO (2001) afirma que a difusão do chumbo está amplamente relacionada com as mudanças de correntes eólicas, e de temperaturas existentes na camada de ar. O vento, um importante parâmetro meteorológico, é decorrente das diferenças de pressão devidas ao aquecimento ou resfriamento da atmosfera pelo sol, e capaz de espalhar o chumbo numa determinada região e transportá-lo para longe de seu ponto de emissão.

Em um estudo QUITÉRIO (2001) verificou que a poeira doméstica das áreas externas das residências, no raio de até 25 m da fonte, são as que tem acumulado mais chumbo, em especial, devido à grande proximidade das saídas de ar das recicladoras de baterias (RB) e às próprias características da fonte de emissão (fugitiva). As concentrações de chumbo no ar (Pb-Ar) encontradas nestas avaliações foram relacionadas à direção do vento, às saídas de ar das RB e às atividades desenvolvidas durante o período de coleta, sendo fatores primordiais ao planejamento da amostragem. Estas concentrações de chumbo no ar atmosférico nas

circunvizinhanças das RB retratam o teor de chumbo na atmosfera, e não o teor de chumbo, demonstrando uma contaminação ambiental recente.

Neste mesmo estudo verificou-se que o chumbo disperso no ar se sedimenta associado à poeira existente nas residências. Desta forma, torna-se uma fonte de exposição em longo prazo, devido ao depósito de poeira sobre alimentos (vegetais e frutas), brinquedos (crianças os conduzem à boca) e móveis.

3.6.2. Águas e Sedimento

3.6.2.1. Água Superficial

As principais fontes de geração de efluentes líquidos são: lavagem das baterias, lavagem de pisos e pátios, filtros-prensas, lavador de gases, águas pluviais e esgotos domésticos (CETESB, 1995).

Os despejos líquidos industriais de fusão secundária de chumbo têm como principal problema a remoção de chumbo solúvel, geralmente em um meio fortemente ácido.

O tratamento geralmente utilizado neste tipo de indústria é a neutralização, floculação, precipitação e remoção do lodo que é desidratado em filtros-prensa, devendo ser posteriormente reciclado ou disposto em aterro industrial, sendo considerado resíduo perigoso. Cabe ressaltar que a destinação final deste resíduo deve estar vinculada a uma completa caracterização de sua composição

A neutralização no geral é realizada com cal, podendo também ser utilizada soda cáustica, carbonato de sódio, bicarbonato de sódio e sulfeto de sódio. O lodo formado é constituído por óxido de chumbo e sulfato de chumbo.

A utilização de cal resulta em grandes quantidades de lodo, tendo em vista que a formação de sulfato de cálcio é devida à grande concentração de sulfato ou ácido sulfúrico nos despejos. Eventualmente, quando os despejos são lançados em redes coletoras de esgotos, torna-se necessária a remoção de sulfatos formados.

Assim, após tratamento, as recicladoras de baterias lançam o efluente líquido em rede pública coletora de esgotos, se houver, ou em um corpo d'água mais

próximo, em ambos os casos, atendendo aos padrões de lançamento estabelecidos em legislação, e no caso de corpos d'água, atendendo também aos padrões de qualidade do corpo receptor.

3.6.2.2. Sedimento

A análise de sedimentos busca apontar o histórico da contaminação em corpo de água superficial. Isto ocorre porque se houver a liberação de algum contaminante nas águas superficiais ele poderá ficar depositado nos sedimentos do fundo do leito; somente se as quantidades lançadas forem extremamente elevadas, é que a análise das amostras de águas apontará a ocorrência de contaminação.

A análise de amostras de sedimento possibilita obter um retrato da contaminação a partir do momento em que é possível a retirada de amostras em várias profundidades. Diagnosticando-se, então, se a exposição é mais recente ou não.

Não há valores na legislação brasileira estabelecidos como padrão para o teor de chumbo em sedimentos. Assim, a CETESB (Órgão Ambiental do Estado de São Paulo) tem adotado os valores estabelecidos pela Agência Ambiental Canadense.

A Agência Ambiental Canadense estabelece dois limites: TEL e PEL. O limite denominado TEL (Threshold Effect Level) consiste em uma concentração abaixo da qual não são esperados efeitos adversos sobre organismos aquáticos, já o limite denominado PEL (Probable Effect Level) representa uma concentração acima da qual são esperados efeitos adversos severos sobre organismos aquáticos.

3.6.2.3. Água Subterrânea

O monitoramento das águas subterrâneas tem se tornado uma prática comum, visto que históricos de vazamentos da indústria e práticas inadequadas de armazenamento de matéria-prima e produtos poderão ter contaminado as águas subterrâneas.

Estes monitoramentos são realizados por meio da construção de poços de monitoramento, seguindo as diretrizes estabelecidas na norma da ABNT NBR 13.895. Os limites máximos a serem obtidos para cada parâmetro analisado deverão estar de acordo com aqueles estabelecidos na Portaria nº 518/04 do Ministério da

Saúde, a qual estabelece os padrões de potabilidade para água destinada ao consumo humano. Estes valores são referenciais para as tomadas de decisões quanto à necessidade de remediação ou monitoramento periódico da qualidade dessas águas, medidas que poderão variar de acordo com o uso das águas subterrâneas no local e a extensão atingida.

3.6.3. Solo

3.6.3.1. Comportamento do chumbo

Há muitos casos de contaminação que, mesmo após a indústria ter suas atividades industriais paralisadas, houve um aumento nas taxas de chumbo no sangue de crianças residentes nas proximidades da indústria, sendo constatado posteriormente que este aumento se devia ao contato com o solo contaminado.

Daí a importância da realização de um monitoramento adequado do solo, com a escolha correta dos parâmetros a serem analisados, a profundidade do solo a ser amostrado, o número de amostras, bem como o posicionamento adequado, conforme as atividades desenvolvidas no local, condições topográficas, distância dos corpos d'água mais próximos e direção dos ventos predominantes.

A contaminação do solo por chumbo tem a principal origem nas emissões atmosféricas, sendo o ar o principal meio de transporte e distribuição desse metal, grandes quantidades tendem a localizar-se nas vizinhanças de fontes geradoras.

Em seus estudos ABREU (1998) verificou a maior concentração de chumbo no solo, nas direções dos ventos predominantes, que teriam carregado partículas do elemento emitidas pelas indústrias.

Já segundo ATSDR (1993) apud PAOLIELLO (2001) além da deposição atmosférica, tem-se que o escoamento superficial urbano também é fonte indireta significativa do chumbo encontrado em ambientes aquáticos.

Quando as partículas de chumbo caem no solo normalmente aderem às suas partículas. São vários os fatores que interferem no transporte do chumbo dentro do solo e na disponibilidade do metal, tais como pH, composição mineral do solo,

quantidade e tipo de matéria orgânica, presença de colóides inorgânicos e óxidos de ferro, características de troca iônica e quantidade do elemento no solo. O chumbo é fortemente adsorvido à matéria orgânica, e, embora não sujeito à lixiviação, pode entrar nas águas superficiais como um resultado da erosão do solo contaminado com chumbo. O chumbo pode ser convertido em sulfato de chumbo na superfície do solo, o qual é relativamente solúvel quando comparado com carbonato ou fosfato de chumbo. O metal também pode ser imobilizado pela troca iônica com óxidos hidratados ou argila, ou pela quelação com ácidos fúlvicos e húmicos do solo. O chumbo inorgânico também pode estar ligado a matrizes cristalinas de rochas e permanecer imóvel (ATSDR, 1993; WHO, 1995 apud PAOLIELLO, 2001).

A liberação do chumbo de complexos orgânicos para a forma solúvel, e portanto sua disponibilidade, é altamente dependente do pH. Em solos com $\text{pH} \geq 5$ e contendo pelo menos 5% de matéria orgânica, o chumbo atmosférico é retido na camada superior (2 – 5 cm) . Em solos que apresentam alto teor de matéria orgânica e num pH entre 6 e 8, o chumbo pode formar complexos orgânicos insolúveis; se o solo tem menos matéria orgânica e o mesmo pH, complexos de óxidos de chumbo hidratados podem-se formar ou o chumbo pode-se precipitar na forma de carbonatos ou fosfatos. Em pH entre 4 e 6, os complexos orgânicos de chumbo formados tornam-se solúveis e sofrem lixiviação ou podem ser absorvidos pelas plantas (ATSDR, 1993; WHO, 1995 apud PAOLIELLO, 2001).

O movimento do chumbo no solo para as águas subterrâneas irá depender do tipo de composto formado e das características do solo. Segundo ATSDR (1993) apud PAOLIELLO (2001), este movimento do chumbo do solo para águas profundas por lixiviação é muito lento na maioria das condições naturais, exceto para situações de elevada acidez. As condições que induzem o escoamento são a presença de chumbo no solo em concentrações que se aproximem ou excedam a capacidade de troca catiônica do solo, a presença de materiais capazes de formar quelatos solúveis com o chumbo, e o decréscimo no pH da solução de lixívia (chuva ácida, por exemplo). Em solos próximos a fundições de chumbo, podem estar presentes condições favoráveis para a lixiviação. Entretanto, esta lixiviação do chumbo solúvel de solos contaminados para águas profundas pode ser minimizada pela presença do carbonato de chumbo no solo e manutenção do pH entre 8 e 10.

O chumbo (MELLO JR, 1998) tende a se acumular nos horizontes superiores do solo, devido à baixa capacidade de solubilização e retenção pela porção orgânica do solo, a qual diminui com a profundidade.

Segundo PAOLIELLO (2001) o chumbo é relativamente abundante na crosta terrestre, tendo uma concentração média entre 10 e 20 mg/kg, e em alguns casos chegando a 70 mg/kg (WHO, 1995). Este teor de chumbo no solo é muito influenciado por atividades antropogênicas e pelo transporte do metal através do ar, oriundo de várias fontes.

A concentração média do metal no solo, estudada por diversos autores, apresenta resultados díspares, oscilando entre 17 e 106 mg/kg, segundo DAVIES et al e DUDKA apud ALLOWAY (1995), valores estes provenientes provavelmente das emissões antropogênicas. ALLOWAY (1995) acredita que em áreas virgens o teor do metal é menor do que 20 mg/kg, porém existe um nível de contaminação generalizado elevando o teor para 30 a 100 mg/kg.

Valores estes confirmados por MELLO JR (1998) que afirma que a concentração média do chumbo em solos não contaminados é menor do que 20 mg/kg, porém em solos contaminados este valor pode ser muitas vezes maior, com o agravante do metal tender a se acumular no solo, devido à baixa solubilidade de seus compostos e à resistência à degradação por microorganismos.

Devido às controvérsias existentes quanto aos valores de referência de metais no solo, e com o intuito de padronização destes, a CETESB (2001b) realizou uma série de estudos para estabelecimento de valores orientadores para diversos parâmetros para solos do estado de São Paulo, que foram oficializados, passando a servir como instrumento de controle da qualidade dos solos no estado.

Foram estabelecidos valores orientadores de referência, de alerta e de intervenção. O valor de referência indica a qualidade natural dos solos, ou seja, o teor de um determinado elemento que pode ser encontrado naturalmente no solo considerado “limpo”. O valor de alerta indica o limite a partir do qual as investigações deverão ser ampliadas, inclusive com relação às águas subterrâneas. Já o valor de intervenção foi estabelecido com base em avaliação de risco e indica o limite a partir do qual deverão ser tomadas medidas de remediação na área, a fim de

resguardar possíveis receptores do risco. Os valores de intervenção foram estabelecidos para diferentes usos do solo: agrícola, residencial e industrial (CETESB, 2001B).

Para fins de fertilidade do solo (ABREU, 1998), recomenda-se a coleta de amostras na camada de 0-20 cm. Questiona-se se essa profundidade de coleta é a ideal quando se pretende diagnosticar problemas de contaminação por metais. Nessa profundidade, a concentração de chumbo está diluída porque esse elemento oriundo da ação antropogênica tende a acumular-se na camada superficial (primeiros 10 cm), devido à sua baixa mobilidade no perfil.

Assim, a camada superficial do solo (0-10 cm), além de ser importante do ponto de vista nutricional, apresenta alta atividade de microorganismo. Outro alerta refere-se à erosão superficial com contaminação de outros locais (ABREU, 1998).

3.6.3.2. Localização dos pontos de amostragem

Além de todos os fatores já comentados anteriormente para uma melhor avaliação da qualidade do solo, é fundamental que a determinação dos pontos de coleta de amostras de solo seja feita com muito critério e com uma metodologia adequada, de acordo com os dados disponíveis para o caso em estudo. Visto que pontos escolhidos sem uma metodologia apropriada podem levar a interpretações erradas, além disso, segundo CETESB (1999) o esquema de distribuição dos pontos de amostragem objetiva facilitar a análise dos dados e a sua implantação em campo além de procurar minimizar os custos da investigação.

A adoção de um esquema de amostragem é baseada na estimativa da distribuição dos contaminantes presentes no solo na área investigada e no tipo de substância presente. A escolha da malha de amostragem mais apropriada estará associada à distribuição dos contaminantes, distribuição esta que pode ser desconhecida; difusa e gradiente; ou concentrada em determinados pontos. A forma da malha de amostragem deverá ser adaptada às condições encontradas em campo (CETESB, 1999).

Assim, basicamente têm-se os seguintes esquemas de distribuição dos pontos de amostragem (CETESB, 1999):

- **Direcionada** (Figura 3): é realizada de acordo com o conhecimento já existente a respeito das fontes e vias de disseminação da contaminação, evidências visuais de contaminação do solo ou aplicação de métodos de screening na área. Para aplicação deste método é necessária a coordenação de uma pessoa com boa experiência, para que seja obtido um retrato significativo da área, e não retratos de situações específicas;

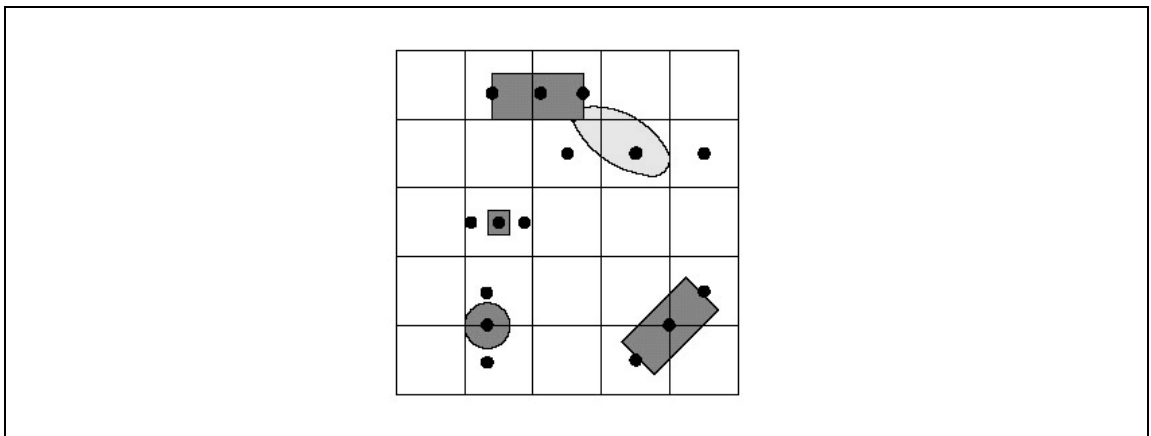


Figura 3 – Esquema de distribuição direcionada dos pontos de amostragem. Fonte: CETESB (1999).

- **Aleatória** (Figura 4): neste esquema de distribuição dos pontos de amostragem todo ponto deve ser locado na área sem que seja levada em consideração a posição de qualquer outro. Esta distribuição dos pontos pode ser denominada aleatória simples, se a área for tratada como um todo, ou estratificada, se a área for dividida de forma regular para que se proceda à distribuição dos pontos, de forma aleatória, em cada um delas. Nestes tipos de distribuição dos pontos de amostragem podem ser localizados dois pontos muito próximos, gerando informação redundante e desperdiçando os recursos empregados. A vantagem que o método estratificado apresenta é a opção de dividir a área, com base em informações prévias, em segmentos com características diferentes;

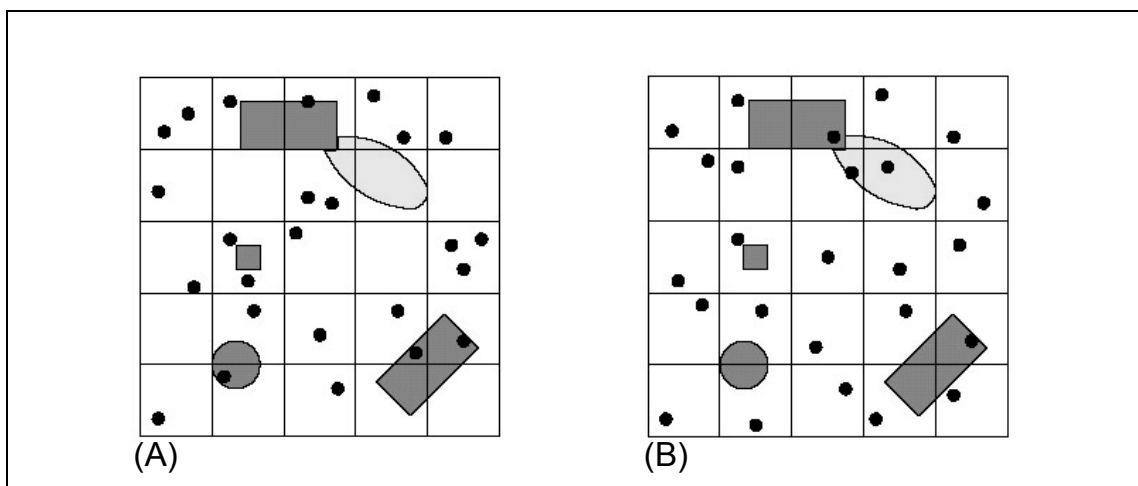


Figura 4 – (A) Esquema de distribuição aleatória dos pontos de amostragem e (B) esquema de amostragem com distribuição aleatória estratificada. Fonte: CETESB (1999)

- **Sistemática** (Figura 5): a distribuição dos pontos é feita por meio de uma malha de amostragem, a qual evita a coleta de amostras em pontos muito próximos. Tem como vantagem a facilidade de implantação no campo e a possibilidade de adensamento do número de pontos em que for necessário, por meio de uma amostragem direcionada. Na prática pode não ser possível efetuar o ponto de amostragem no local predeterminado, devido à presença de obstruções, como estradas, construções, rochas, árvores, entulhos e utilidades (galerias, tubulações, etc.), mas a experiência da equipe de campo contornará o problema de forma a local o ponto de amostragem o mais próximo possível do originalmente demarcado, respeitando um direcionamento previamente definido e assegurando-se de que a distância entre os dois pontos (original e remarcação) seja menor que a metade do espaçamento utilizado para a malha (USEPA, 1989 apud CETESB, 1999).

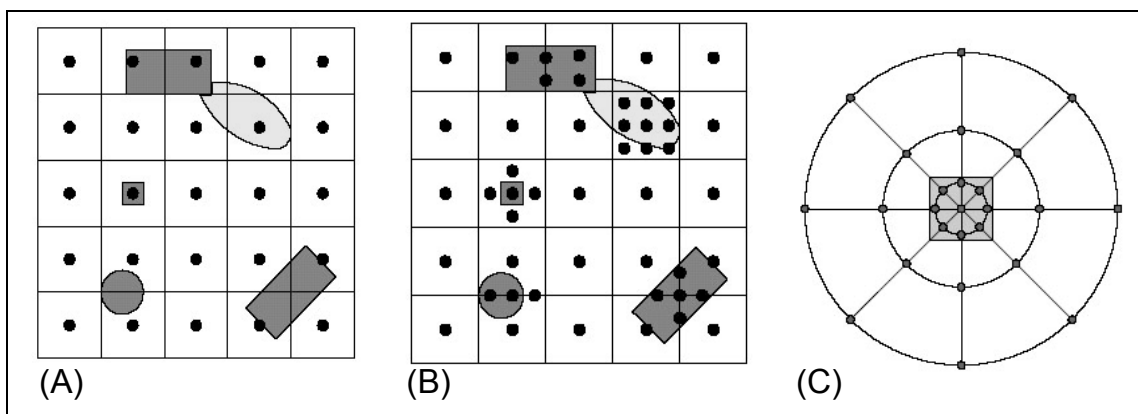


Figura 5 – (A) Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem utilizando-se uma malha quadrada. As áreas demarcadas são aquelas consideradas suspeitas de serem contaminadas. (B) Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem e adensamentos nos pontos previamente identificados como áreas suspeitas de contaminação (áreas sombreadas). (C) Esquema de amostragem com malha de amostragem circular (a área sombreada refere-se à fonte suspeita de contaminação). Fonte: CETESB (1999).

A malha circular (radial) fornece informações detalhadas a respeito da concentração máxima das substâncias no ponto de emissão dos contaminantes (centro da malha), da distribuição da contaminação e da forma da pluma de contaminação. Por outro lado, a irregularidade na densidade dos pontos de amostragem (diminui do centro para a periferia) nem sempre é adequada, e a distribuição dos pontos de amostragem é realizada em todas as direções sem levar em conta os mecanismos de disseminação dos contaminantes a partir da fonte principal (CETESB, 1999).

As dimensões adotadas para a malha estão relacionadas ao nível de detalhe pretendido, que irá variar de acordo com o objetivo da amostragem (determinar a concentração média de determinada substância na área, localizar pontos isolados de contaminação ou delimitar a pluma de contaminação). A malha de pontos de amostragem pode ser orientada na direção do fluxo de dispersão dos poluentes, os quais, vias de regra, seguem a topografia do local ou a direção predominante dos ventos (CETESB, 1999).

3.6.4. Vegetação

Outro monitoramento que tem sido realizado quando já houve a confirmação da contaminação, é o de vegetação, principalmente porque inadvertidamente pessoas poderão estar ingerindo vegetação contaminada.

Não há na legislação brasileira um valor máximo estabelecido para o teor de chumbo em vegetação na base seca. Assim, a CETESB adotou, para efeito de comparação dos resultados obtidos nas análises das amostras de vegetação da campanha denominada Investigação Confirmatória, realizada em torno da indústria em estudo, o limite estabelecido pela EPA (Órgão Ambiental Americano).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Informações sobre a área estudada

O estudo se desenvolveu a partir de fortes indícios de contaminação originada em uma indústria recicladora de baterias automotivas, atingindo o seu entorno. A indústria em questão realizava as atividades de recuperação de chumbo e polipropileno a partir de baterias automotivas usadas.

A indústria foi interditada em janeiro de 2002 e estava instalada no local desde antes de 1976, data de vigência do Regulamento da Lei nº 997/76. De acordo com informações obtidas no local (CETESB, 2001a), a partir de 1998 o entorno imediato da indústria começou a ser ocupado e atualmente, em um raio de 1 km, são observados diversos tipos de ocupação:

- **Loteamento residencial popular** medianamente ocupado, com ruas sem pavimentação, ao norte e do lado oposto à indústria em relação à rodovia;
- **Loteamento praticamente desocupado**, a nordeste e do mesmo lado da indústria em relação à rodovia;
- **Área de cerrado** pertencente ao Jardim Botânico, com inserção de alguns sitiantes posseiros, ao sul e do mesmo lado da indústria em relação a rodovia;
- **Algumas chácaras** de alto padrão atrás da indústria;
- **Área desocupada**, em frente à indústria, do outro lado da rodovia;

- **Loteamento residencial** densamente habitado, com ruas asfaltadas e quintais impermeabilizados, a oeste da indústria e após a área desocupada já referida.

Técnicos da Prefeitura local e da Secretaria do Estado da Saúde estimaram que a população residente no raio de influência de 1km ao redor da indústria seria da ordem de 5.000 habitantes (CETESB - Informação Técnica nº 18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02).

Na Informação Técnica nº 18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02 é apresentada uma Rosa dos Ventos, a qual foi elaborada com dados da estação meteorológica local, no período entre 1996 e 1999, conforme mostrado na Figura 6. Nela pode-se verificar que a direção predominante do vento é de leste, ou seja, indo para oeste. A segunda direção predominante é de leste-sudeste, ou seja, indo para oeste-noroeste.

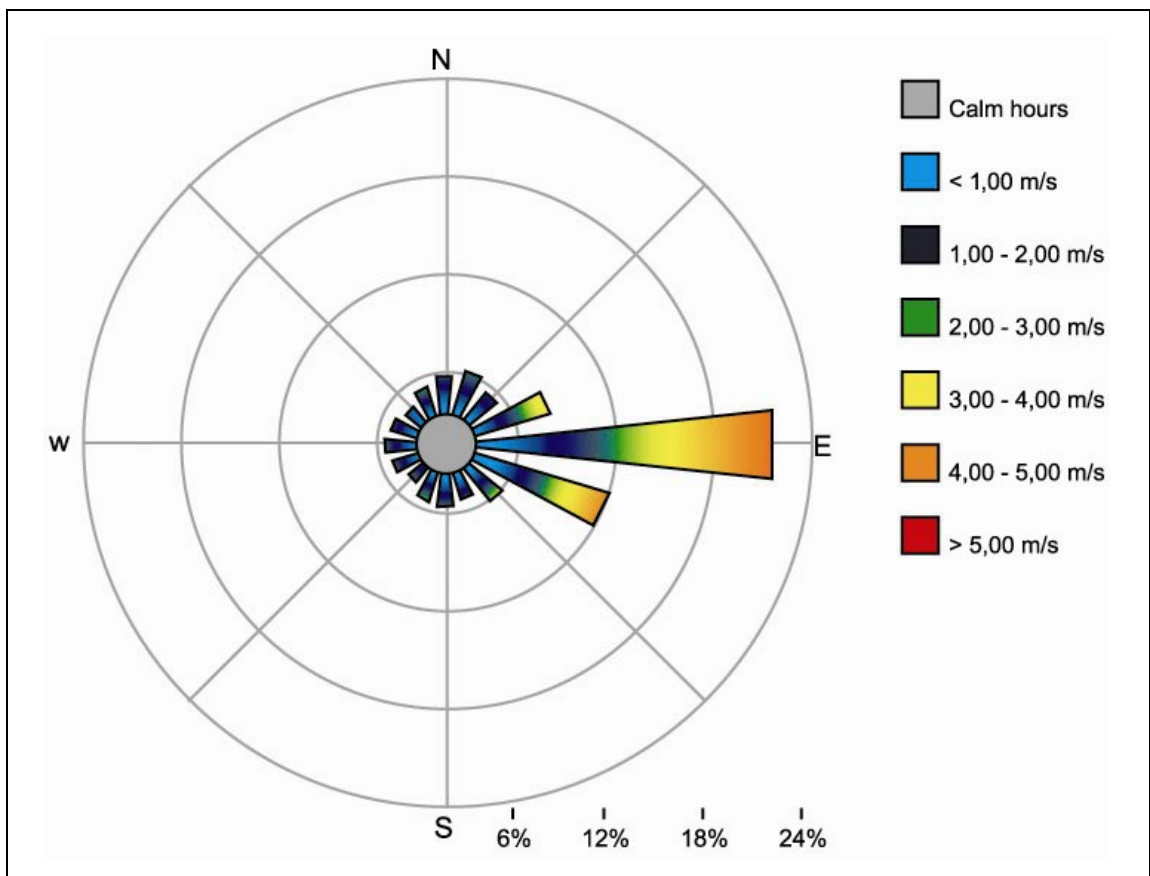


Figura 6 - Rosa de Ventos no município em questão (Jan/96 a Ago/99). Fonte: CETESB (2002).

Ao longo de seu funcionamento, a indústria foi objeto de uma série de ações da CETESB visando à correção das irregularidades constatadas. Porém em 2001, com os resultados obtidos no monitoramento do teor de chumbo nas partículas totais em suspensão na atmosfera (low-vol) foi proposta a interdição temporária da indústria. Neste levantamento, observaram-se elevadas concentrações de chumbo no bairro residencial próximo à indústria, caracterizando risco eminente à saúde pública,

Assim, a indústria foi interditada em janeiro de 2002. O Auto de Imposição de Interdição Temporária contém 28 (vinte e oito) exigências técnicas que deveriam ser cumpridas para que a indústria voltasse a funcionar no local. Porém, de acordo com informações obtidas junto ao órgão ambiental, a indústria protocolou documento informando que não pretendia realizar mais no local as atividades referentes à manipulação do chumbo. Desta forma, apenas 19 exigências técnicas continuaram aplicáveis.

A vigésima oitava exigência técnica estabeleceu que a indústria deveria proceder à remediação total das áreas contaminadas, internas e externas à empresa, abrangendo solo, águas superficiais, subterrâneas e vegetação.

4.2. Etapas necessárias para remediação de uma área contaminada

De acordo com CETESB (1999), para a remediação de uma área são necessárias as seguintes etapas:

- **Investigação Confirmatória** – Etapa cujo objetivo principal é confirmar a contaminação de uma área suspeita de contaminação;
- **Investigação Detalhada** – O objetivo desta etapa é quantificar e qualificar a contaminação, avaliando detalhadamente as características da fonte de contaminação e dos meios afetados, determinando as dimensões das áreas ou volumes afetados, os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações. Segundo o Manual de Gerenciamento

de Áreas Contaminadas da CETESB (1999) nesta etapa devem ser definidas também as características das plumas de contaminação: seus limites e taxa de propagação;

- **Avaliação de Risco** – O objetivo principal desta etapa é identificar e quantificar os riscos à saúde humana, decorrentes de uma área contaminada, uma vez que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens a proteger expostos. Esta etapa subsidiará a definição dos objetivos a serem atingidos na remediação e das medidas corretivas a serem adotadas.
- **Remediação propriamente dita** – Com os dados obtidos nas etapas anteriores são executados os trabalhos que visam a remediação de uma dada área. Entende-se que a remediação será realizada considerando o uso futuro do solo local. No caso da área ter características de uso do solo diferentes, poderá ser trabalhada por partes desde que o uso do solo esteja bem caracterizado em cada parte. Daí a importância futura, após atingidas as metas de remediação, de averbação dos imóveis em cartório, de maneira a informar o uso possível do solo no local.

4.3. Investigações realizadas em torno da indústria estudada

Em abril de 2002 a Secretaria de Estado da Saúde solicitou, com base nos resultados obtidos na investigação epidemiológica, a qual foi iniciada após a interdição da indústria, avaliação de solo em pontos específicos no entorno da indústria e em seu pátio, visto que os resultados obtidos no monitoramento biológico revelaram que as taxas de chumbo no sangue das crianças monitoradas estavam se elevando, mesmo com a fonte paralisada. Os pontos indicados pela Secretaria de Estado da Saúde subsidiaram a realização da campanha de investigação

confirmatória, a qual foi realizada pela CETESB nos meses de maio e junho de 2002, portanto quase seis meses após a interdição da indústria. Esta campanha de amostragem consistiu em uma investigação confirmatória da contaminação e contemplou amostragem de solo (profundidades de 0-20 cm e de 80-100 cm), águas subterrâneas, superficiais, sedimentos e vegetação.

Os resultados obtidos na avaliação de solo da campanha de investigação confirmatória apresentaram poucas desconformidades, com as quais não era possível relacionar as altas taxas de chumbo no sangue verificadas no monitoramento biológico. Assim, logo na seqüência, a CETESB realizou nova campanha de amostragem, a qual consistiu na amostragem de solo na profundidade de 0-2 cm e de águas subterrâneas. Os pontos de amostragem foram situados nos locais com maior número de casos de crianças com concentrações elevadas de chumbo no organismo. Esta campanha, para efeitos didáticos, será denominada Investigação Intermediária.

Visando a remediação da área contaminada, a indústria entregou sucessivos planos de investigação detalhada da área, até que em setembro de 2003 teve o último plano proposto aprovado pela CETESB. O plano dividiu-se em três etapas: investigação detalhada, definição da remediação e remediação. A investigação detalhada dividiu-se em duas fases:

- **Fase I:** Contemplou a área definida por uma circunferência de raio de 1 km, com centro na indústria, excetuando-se a área da indústria e seu entorno imediato, as quais constituíam a área de uma circunferência de raio de 300 metros com centro na indústria. Foi realizada em dezembro de 2003 e consistiu em campanhas de amostragem de solo superficial (profundidades de 0-2 cm, 30-50 cm e 80-100 cm), água superficial, sedimento, água subterrânea e vegetação;
- **Fase II:** Contemplou a área interna da indústria, a qual compreendeu a própria indústria e seu entorno imediato, que corresponde à área delimitada por uma circunferência de raio de 300 metros com centro na indústria. Foi realizada em fevereiro de 2004 e consistiu na amostragem de solo em profundidade, por meio de sondagens,

instalação de poços piezométricos e coleta de amostras de água subterrânea. Seus resultados ainda não foram apresentados.

A CETESB acompanhou a realização das duas fases da campanha de investigação detalhada e retirou contraprovas de todas as amostras.

Desta forma, no presente trabalho serão apresentadas as campanhas de amostragens realizadas na etapa da investigação confirmatória, investigação intermediária e na primeira fase da etapa de investigação detalhada, no que estas campanhas se sobrepõem, procurando-se estabelecer um quadro comparativo.

4.4. Investigação Confirmatória

Os dados referentes a esta etapa foram obtidos da Informação Técnica nº 18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02 (CETESB, 2002), a qual foi elaborada pelos seguintes setores específicos da CETESB: áreas contaminadas; qualidade do ar; qualidade do solo, água subterrânea e vegetação; qualidade das águas; amostragem de água e química inorgânica e radioatividade. Os trabalhos foram realizados por equipes da CETESB devidamente treinadas para coleta de amostras em cada um dos compartimentos ambientais e os trabalhos foram realizados atendendo a procedimentos normatizados.

A seleção dos parâmetros químicos analisados considerou as características das matérias-primas e resíduos de fábricas de baterias e indústrias recuperadoras de chumbo, além de considerar também os resultados obtidos em investigações realizadas em outras indústrias do ramo.

As análises das amostras foram realizadas no laboratório de química inorgânica e radioatividade da CETESB e a metodologia de análise empregada baseou-se na 20ª. Edição do “Standard Methods for the examination of water and wastewater” – APHA – WEF – 1998 e na norma “Test Methods for Evaluating Solid Wastes”, EPA/SW-846 – Method 3051 – Microwave Assisted Acid Digestion of

Soils, Sediments, Sludges and Oils, sept. 1994 – USEPA. A leitura dos resultados foi feita por meio de um espectrômetro de absorção atômica.

4.4.1. Solo

As amostras de solo foram retiradas com o auxílio de trado e foram compostas após cuidadosa homogeneização, a partir da coleta de quatro alíquotas simples, nas imediações dos pontos selecionados, distanciadas de 3 a 20 metros entre si, procurando-se escolher pontos com evidências de não terem sofrido movimentações de terra que pudessem mascarar a representatividade da amostra. As alíquotas eram colocadas em bandejas plásticas para a devida homogeneização.

Após a coleta de cada amostra, o material utilizado era descontaminado, removendo-se o solo aderido por meio de espátula ou escova, sendo a seguir lavados com água potável e detergente alcalino para laboratório, isento de fosfato, na seqüência o amostrador era enxaguado com água potável, com água deionizada, com solução de ácido nítrico 5% e com água deionizada novamente, a seguir o material era seco ao ar e acondicionado em saco plástico enquanto aguardava a próxima coleta. Este procedimento seguiu conforme descrito por CETESB (1999).

De acordo com os parâmetros avaliados nas amostras, elas foram classificadas como amostras do tipo 1 ou amostras do tipo 2. Nas amostras classificadas como tipo 1 foram avaliados os seguintes parâmetros: Pb, As, Cd, Zn, Cu, Ni, Se, Cr, Fe, Mn, Sn, Mo, Sb, Al, Ca, resíduo volátil, pH e umidade. Já nas amostras classificadas com tipo 2 foram avaliados apenas os parâmetros: Pb, Cd e Zn;

4.4.1.1. Profundidade (0–20 cm)

Foram coletadas 36 amostras de solo superficial (0-20 cm), sendo 07 amostras do tipo 1 e 29 amostras do tipo 2.

As 29 amostras do tipo 2 foram coletadas nos locais onde a principal suspeita de contaminação foi por deposição atmosférica de partículas contendo chumbo, ou de interesse, tendo em vista os resultados preliminares da investigação epidemiológica. Foram também incluídos alguns pontos nos parques Zoológico e Jardim Botânico, apesar de distarem cerca de 2.000 m da indústria, além de uma

amostra de “branco”, coletada no pátio da Agência Ambiental da CETESB na cidade.

As 07 amostras coletadas nesta profundidade que foram classificadas como amostras do tipo 1, foram retiradas do mesmo ponto no qual foram coletadas as amostras tipo 1 coletadas na profundidade de 80-100 cm.

4.4.1.2. Profundidade (80-100 cm)

Foram coletadas 07 amostras na profundidade de 80-100 cm, sendo todas classificadas como amostras tipo 1. Estas amostras foram retiradas de locais onde poderia haver resíduos da indústria enterrados, ou de maior interesse em investigar a lixiviação de contaminantes para camadas mais profundas do solo. Nestes pontos, que estão situados na área de propriedade da indústria e no entorno imediato, as amostras coletadas foram classificadas como tipo 1.

4.4.2. Águas Superficiais e Sedimentos

As amostras de águas superficiais e sedimentos foram coletadas em 04 pontos em um córrego classe 2, próximo à indústria, e em um ponto em um rio classe 4, cujo referido córrego deságua nele. Foi também coletada uma amostra de água superficial na entrada da estação de tratamento de efluentes da indústria, a fim de verificar os poluentes presentes que poderiam estar sendo carreados, contaminando outras áreas, mesmo com a indústria paralisada.

Dos pontos de coleta das amostras no córrego classe 2, dois pontos situam-se à montante da indústria e dois, à jusante. O ponto de coleta das amostras no rio classe 4 situa-se a jusante do córrego classe 2. O objetivo foi avaliar um eventual transporte de poluentes para outra bacias.

A coleta de sedimento do Lago do Jardim Zoológico foi efetuada em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm), utilizando-se a draga do tipo Core Sampler. O sedimento foi fatiado em dois pedaços, para avaliar a presença de poluentes advindos de uma eventual contaminação recente (0-10 cm) ou pretérita (10-20 cm).

As análises de amostras de água superficial contemplaram os seguintes parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez, sólidos

em suspensão, sólidos dissolvidos, chumbo, cádmio, zinco, cobre, arsênio, cromo, ferro, alumínio, manganês, níquel, selênio, estanho, antimônio, molibdênio, sulfato e cloreto. Para os sedimentos, foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, chumbo, cádmio, zinco, cobre, arsênio, cromo, ferro, alumínio, manganês, níquel, selênio, estanho, antimônio, molibdênio, resíduo fixo, resíduo total e umidade.

4.4.3. Águas Subterrâneas

Foram coletadas dez amostras de água subterrânea nesta campanha; sendo uma amostra em um poço tipo cacimba e duas amostras em nascentes situadas no terreno em frente à indústria, do outro lado da Rodovia; uma amostra em poço profundo utilizado para abastecimento público, e as demais amostras em poços tubulares rasos, incluindo um dos poços da área da indústria, os poços do Jardim Zoológico e Botânico, além de poços situados em chácaras residenciais à montante da indústria e em um poço situado em bairro residencial à jusante da indústria.

Os parâmetros avaliados nestas amostras foram: Pb, As, Cd, Zn, Cu, Ni, Se, Cr, Al, Fe, Mn, Sn, Sb, Mo, pH, nitrato, sulfato, cloreto, bactérias heterotróficas, DOC, alcalinidade, dureza total nitrato.

4.4.4. Vegetação

Foram coletadas 15 amostras de vegetação em 08 pontos diferentes em torno da indústria, em todas as direções. Buscou-se contemplar espécies de interesse agrícola.

No momento da coleta as amostras eram acondicionadas em sacos de papel. As amostras foram lavadas com água deionizada e em seguida secas em estufa à 60°C, na seqüência, o material coletado foi digerido com ácido nítrico em forno de microondas (método EPA 3051) e a determinação efetuada por meio de Espectrofotômetro de Absorção Atômica, conforme método EPA 7420.

Os parâmetros analisados nas folhas, frutos e tubérculos foram: chumbo, cádmio e zinco.

4.5. Investigação intermediária

Os dados referentes a esta etapa foram obtidos da Informação Técnica nº 22/ECC/02, a qual foi elaborada pelo setor específico da CETESB que conduziu esta campanha de amostragem. Os trabalhos foram realizados por equipe da CETESB devidamente treinada para coleta de amostras de solo e água subterrânea.

Foram coletadas 13 (treze) amostras de solo superficial, na profundidade de 0-2cm. O solo foi avaliado nesta profundidade porque os resultados obtidos na campanha anterior não indicavam desconformidades que pudessem justificar as elevações nas taxas de chumbo das crianças monitoradas e, também, devido à possível origem da contaminação, a qual seria por deposição atmosférica. Uma das amostras coletadas corresponde ao branco de campo e não está locada no mapa, figura 11, devido à distância dos demais pontos. Cabe ressaltar mais uma vez que as amostras foram coletadas em pontos próximos às residências onde o monitoramento biológico apontou crianças com elevadas taxas de chumbo no sangue.

Nesta campanha foi avaliado apenas o teor de chumbo nas amostras de solo e água subterrânea, visto ser o parâmetro de interesse e que os resultados obtidos nesta campanha, trariam subsídios para conclusões a respeito da elevação da taxa de chumbo nas crianças monitoradas.

4.6. Fase I – Investigação Detalhada

Na determinação dos pontos a serem avaliados utilizou-se o esquema de distribuição sistemática dos pontos de amostragem, com malha circular, pois, como citado por USEPA (1989) apud CETESB (1999), a experiência e as considerações teóricas, mostram que na maioria dos casos, a aplicação deste modelo gera um retrato detalhado da variação das propriedades do solo existentes no local. Foram amostrados também os pontos já avaliados na campanha de Investigação Confirmatória.

Os pontos de coleta das amostras de solo e vegetação foram localizados em circunferências concêntricas, com raios de 250, 500, 750 e 1000 metros a partir do centro da indústria, na direção dos 08 (oito) principais pontos cardeais (Norte, Sul,

Leste, Oeste, Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste). Assim, alguns pontos já amostrados na etapa de Investigação Confirmatória, os quais foram denominados pontos notáveis, coincidiram com aqueles propostos na malha circular apresentada pela indústria, substituindo, então, os pontos da malha, para que se pudesse estabelecer um quadro comparativo entre as duas campanhas de amostragem.

4.6.1. Solo

A coleta das amostras de solo na profundidade de 0-2 cm foi do tipo composta, sendo retiradas 03 (três) alíquotas ao redor do ponto de interesse a uma distância aproximada de 01 (um) metro. O solo retirado de cada ponto foi colocado em uma bandeja plástica e a seguir foi homogeneizado para depois ser separado em 03 (três) partes: uma para a indústria, outra para o laboratório contratado e a terceira parte para o órgão ambiental. Para a coleta das amostras foram utilizadas luvas descartáveis, as quais eram substituídas em cada ponto de amostragem.

Já as amostras retiradas nas profundidades de 30-50 cm e de 80-100 cm foram do tipo simples.

Os procedimentos de coleta e descontaminação do material seguiram de acordo com as recomendações do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (1999), conforme já descrito para a campanha de amostragem denominada Investigação confirmatória.

As amostras de solo retiradas na profundidade de 0-2 cm foram coletadas com o auxílio de espátulas de aço, enquanto que para as amostras retiradas nas profundidades de 30-50 cm e de 80-100 cm foi utilizado trado manual.

4.6.1.1. Profundidade (0 - 2 cm)

Foram coletadas 47 (quarenta e sete) amostras de solo na profundidade de 0 - 2 cm. Foi também coletada uma amostra em uma área distante da indústria cerca de 5 km, para funcionar como branco de campo. Estas amostras foram retiradas de acordo com a metodologia apresentada anteriormente para a locação dos pontos.

Os pontos definidos para retirada das amostras foram deslocados e/ou substituídos de acordo com as condições encontradas no local como perturbação da

superfície do solo e presença de obstruções, sendo dada preferência por amostrar os pontos com maior presença de população.

Para estas amostras foram analisados o teor de chumbo, cádmio e zinco. Quando as amostras de 0 a 2 cm estavam localizadas nos mesmos pontos de retiradas das amostras de 30 a 50 cm e de 80 a 100 cm também foram analisados os parâmetros descritos nos respectivos itens.

4.6.1.2. Profundidade (30 - 50 cm)

Foram coletadas 13 (treze) amostras simples de solo na profundidade de 30 – 50 cm no entorno imediato da indústria. Para estas amostras foram analisados os seguintes parâmetros: alcalinidade total, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, ferro total, granulometria, nitrogênio nitrato, nitrito, níquel, pH a 25°C, sólidos totais, fixos e voláteis, sulfato, umidade a 105°C e zinco.

4.6.1.3. Profundidade (80 - 100 cm)

Foram coletadas 13 (treze) amostras simples de solo na profundidade de 80 – 100 cm no entorno imediato da indústria. Foram analisados os mesmos parâmetros das amostras coletadas na profundidade de 30 a 50 cm.

4.6.2. Águas Superficiais e Sedimentos

As amostras de água superficial e sedimento foram coletadas nos corpos d'água mais próximos desta unidade industrial, definindo-se pontos de montante e jusante da indústria.

Foram coletadas 08 (oito) amostras de sedimento em 05 (cinco) pontos em um córrego classe 2. Para a coleta das amostras foi utilizado o amostrador tipo “Core Sampler”; as amostras de uma única alíquota (63 e 64) foram retiradas na profundidade de 0 a 15 cm e as amostras retiradas em duas alíquotas (57, 58 e 59) foram nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm.

As amostras de sedimento foram coletadas junto aos pontos de coleta de amostras de água superficial, no mesmo córrego, em seu afluente e no seu represamento no Jd. Botânico.

Foram analisados os seguintes parâmetros: alcalinidade total, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo total, estanho, ferro total, manganês total, molibdênio, níquel, pH a 25°C, selênio, sólidos totais e fixos, umidade a 105°C e zinco.

Com relação às águas superficiais foram coletadas 05 (cinco) amostras nas quais foram analisados os mesmos parâmetros das amostras de sedimento, além de alumínio total, cloreto, condutividade elétrica, dureza total, nitrogênio, nitrato, nitrito, sólidos voláteis, sulfato, temperatura e turbidez.

A coleta das amostras foi realizada com um balde de aço inox e os procedimentos de descontaminação seguiram os mesmos utilizados para solos (item 4.1.1.).

4.6.3. Águas Subterrâneas

Foram coletadas 07 (sete) amostras em nascentes, poços rasos/cacimbas e poços profundos em direções variáveis na circunvizinhança da indústria. Estas coletas das amostras foram realizadas com um balde de aço inox e os procedimentos de descontaminação seguiram os mesmos utilizados para solos (item 4.1.1.).

Foram analisados os seguintes parâmetros: alcalinidade total, alumínio total, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cloreto, cobre, condutividade elétrica, cromo total, dureza total, estanho total, ferro total, manganês total, molibdênio, nitrogênio nitrato, níquel, oxigênio dissolvido, pH a 25°C, selênio, sulfato, temperatura, turbidez e zinco.

4.6.4. Vegetação

Foram coletadas 47 (quarenta e sete) amostras de vegetação em torno da indústria.

Das amostras coletadas, 22 (vinte e duas) localizaram-se nas direções de oito pontos cardeais (Norte, Sul, Leste, Oeste, Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste) em circunferências concêntricas, às distâncias de 250, 500, 750 e 1000 metros do centro desta unidade da indústria, e 25 (vinte e cinco) localizaram-se em pontos

notáveis, que são aqueles de interesse especial por já terem sido objeto de estudos anteriores ou por alguma característica de uso.

Para a coleta das amostras foram utilizadas luvas descartáveis, sendo que as amostras foram retiradas com o auxílio de faca, tesoura, alicate ou podão. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel branco e devidamente identificadas, sendo colocadas em caixas de isopor para transporte e proteção das mesmas.

Foi dada prioridade para vegetação de uso direto do homem como hortaliças, plantas medicinais, frutíferas e pastagens, as quais variaram de acordo com a disponibilidade no ponto a ser amostrado. Foram coletadas amostras também de vegetação nativa e plantas ornamentais. A relação das espécies amostradas será apresentada junto com os resultados obtidos.

Na coleta das folhas foi dada prioridade às mais velhas. Quando a espécie amostrada foi a mandioca, o material coletado para análise foi a raiz.

Para as amostras de vegetação foi analisado o teor de chumbo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização deste trabalho, foram analisados os resultados obtidos nas análises das amostras de cada compartimento ambiental das campanhas de amostragem realizadas em torno de uma indústria recicladora de chumbo, após a paralisação de suas atividades industriais. Todas as análises foram realizadas pela CETESB, com exceção das análises das amostras de vegetação da campanha de Investigação Detalhada, as quais foram realizadas pela indústria. Os resultados apresentados foram retirados dos boletins de análise laboratorial, cujas leituras foram feitas por meio de um espectrômetro de absorção atômica, o qual foi calibrado da seguinte forma (independente da unidade):

- **Valores inferiores a 0,1** ⇒ leitura com 03 casas decimais após a vírgula;
- **Valores até 10** ⇒ leitura com 02 casas decimais após a vírgula;
- **Valores entre 10 e 99** ⇒ leitura com 01 casa decimal após a vírgula;
- **Valores superiores a 100** ⇒ leitura de número inteiro;
- **Valores superiores a 1000** ⇒ leitura de número em notação científica.

Nas tabelas serão apresentados apenas os valores obtidos para o parâmetro chumbo total, que é o parâmetro de interesse, devido à predominância no processo industrial, mas os demais parâmetros avaliados serão comentados na discussão do item. Os valores em negrito estão acima dos padrões adotados para análise. Os valores a serem apresentados foram extraídos dos boletins de análise laboratorial da CETESB.

5.1. Investigação confirmatória

Serão apresentados somente os resultados obtidos nas análises das amostras que foram coletadas na área externa da indústria, visto que o objetivo de apresentar esta campanha de amostragem neste trabalho é estabelecer um quadro comparativo com a fase 1 da campanha de investigação detalhada, a qual foi realizada na área externa da indústria.

5.1.1. Solo

5.1.1.1. Resultados

Nas Tabela 2, Tabela 3, Figura 7 e Figura 8 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-20 cm e de 80-100 cm, respectivamente, na campanha de investigação confirmatória realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 2 – Resultados das análises das amostras de solo coletadas na profundidade (0-20 cm) na campanha de investigação confirmatória

Pontos	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição da localização
1	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 250 metros
2	79,0	Direção noroeste da indústria, cerca de 500 metros
3	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 450 metros
4	< 50,0	Direção noroeste da indústria, cerca de 700 metros
5	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 700 metros
6	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 700 metros
7	< 50,0	Direção norte/noroeste da indústria, cerca de 850 metros

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
9	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 850 metros
10	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 1200 metros
11	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 1000 metros
12	< 50,0	Direção noroeste da indústria, cerca de 1000 metros
13	< 50,0	Direção noroeste da indústria, cerca de 850 metros
15-A	169	Direção oeste da indústria, cerca de 375 metros
16	< 50,0	Direção oeste da indústria, cerca de 750 metros
17	< 50,0	Direção oeste da indústria, cerca de 850 metros
18	< 50,0	Direção oeste da indústria, cerca de 750 metros
19	< 50,0	Direção oeste da indústria, cerca de 1300 metros
20	< 50,0	Direção oeste/sudoeste da indústria, cerca de 870 metros
21	< 50,0	Direção sudoeste da indústria, cerca de 870 metros
22	60,0	Direção leste da indústria, cerca de 250 metros
23	< 50,0	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 800 metros
24	< 50,0	Direção sul da indústria, cerca de 950 metros
26	< 50,0	Direção sudeste da indústria, cerca de 200 metros
27	< 50,0	Direção leste da indústria, cerca de 700 metros
28	< 50,0	Direção leste da indústria, cerca de 1100 metros
29	< 50,0	Direção nordeste da indústria, cerca de 500 metros
36	200	Direção sudoeste da indústria, cerca de 600 metros
38	< 50,0	Direção sudoeste da indústria, cerca de 1750 metros
39	< 50,0	Direção sudoeste da indústria, cerca de 1750 metros
42	< 50,0	Branco de campo – Direção oeste da indústria, cerca de 6 km

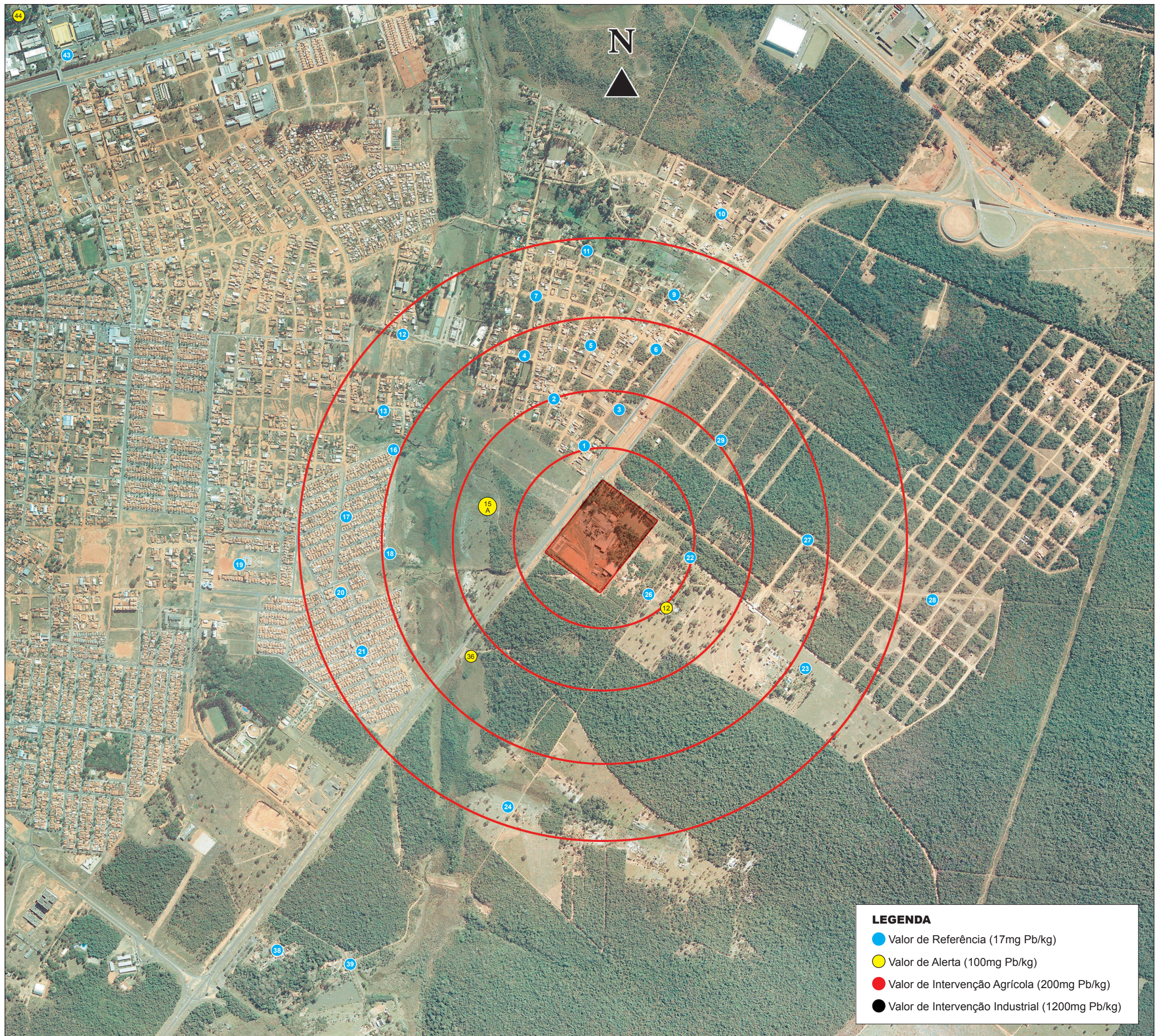
Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
43	56,3	Direção noroeste da indústria, cerca de 3 km
44	539	Direção noroeste da indústria, cerca de 3,1 km

Valor de Referência = 17 µg/g. Valor de Alerta = 100 µg/g. Valor de Intervenção Agrícola = 200 µg/g. Valor de Intervenção Residencial = 350 µg/g Valor de Intervenção Industrial = 1200 µg/g
 Fonte: Relatório de Valores Orientadores da CETESB.

Tabela 3 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na profundidade (80 -100 cm) na campanha de investigação confirmatória

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
9	< 50,0	Direção norte da indústria, cerca de 850 metros
15-A	< 50,0	Direção oeste da indústria, cerca de 375 metros
19	< 50,0	Direção oeste da indústria, cerca de 1300 metros
26	< 50,0	Direção sudeste da indústria, cerca de 200 metros

Valor de Referência = 17 µg/g. Valor de Alerta = 100 µg/g. Valor de Intervenção Agrícola = 200 µg/g. Valor de Intervenção Residencial = 350 µg/g Valor de Intervenção Industrial = 1200 µg/g
 Fonte: Relatório de Valores Orientadores da CETESB.



LEGENDA

- Valor de Referência (17mg Pb/kg)
- Valor de Alerta (100mg Pb/kg)
- Valor de Intervenção Agrícola (200mg Pb/kg)
- Valor de Intervenção Industrial (1200mg Pb/kg)

Figura 7 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 0 a 20 cm para a campanha de Avaliação Confirmatória. Fonte: CETESB/2004.

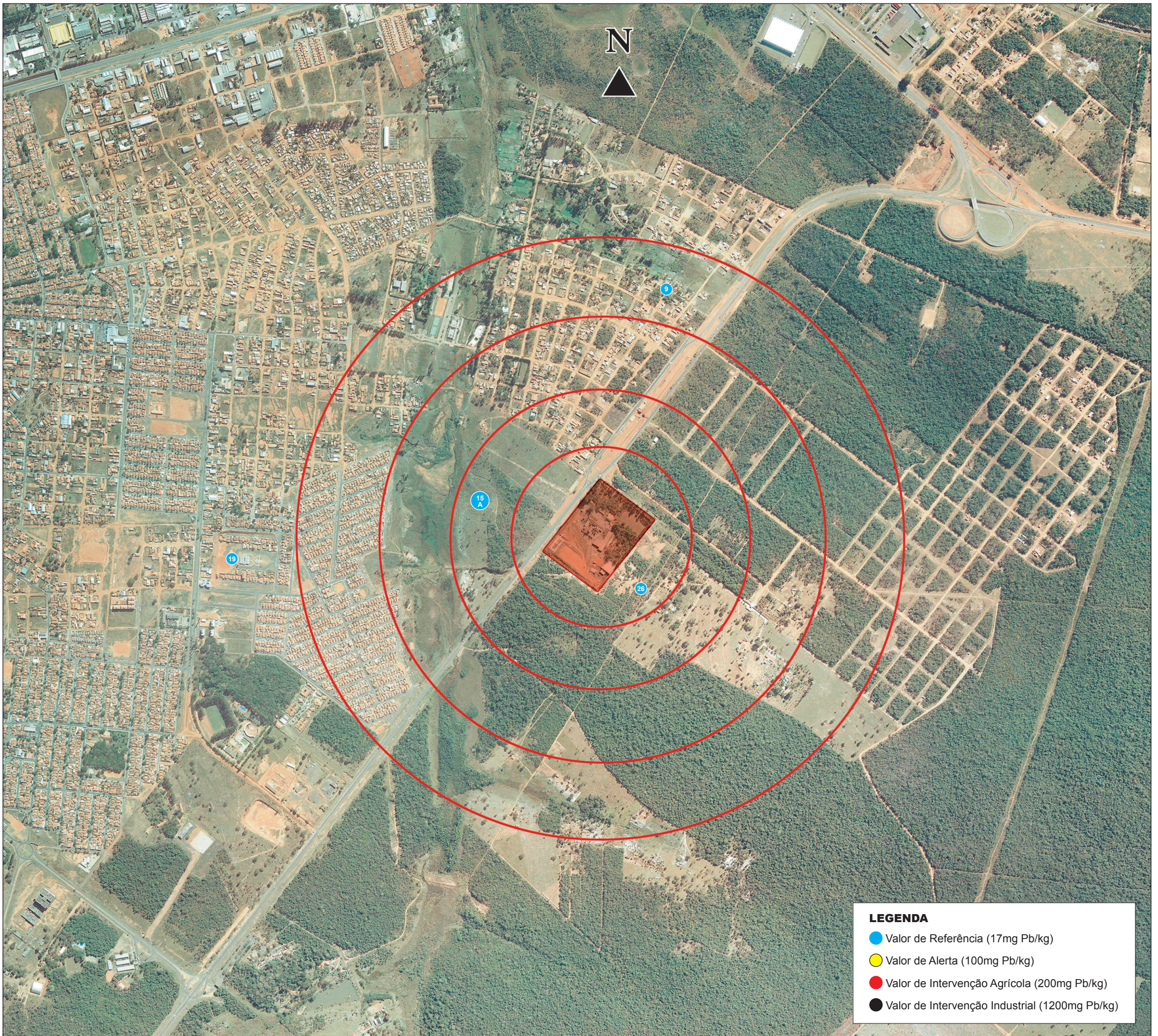


Figura 8 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 80 a 100 cm para a campanha de Avaliação Confirmatória. Fonte: CETESB/2004.

5.1.1.2. Análise dos resultados

Para avaliação dos resultados obtidos foi utilizado o valor de intervenção agrícola (200 µg/g, no caso de chumbo), dentre aqueles estabelecidos pela CETESB, visto que grande parte das residências e chácaras situadas em torno da indústria tem plantação para consumo próprio e vendas a terceiros. Considerou-se também que muitos terrenos não estão ocupados no presente momento, optando-se por considerar o valor mais restritivo, de modo a possibilitar qualquer uso futuro do solo.

Os valores de alerta estabelecidos pela CETESB para solos foram utilizados para indicar indícios de contaminação, sugerindo melhor investigação da área.

Na área externa da indústria, na profundidade de 0 – 20 cm, 01 (uma) amostra (15A) apresentou teor de chumbo superior ao valor de alerta e 02 (duas) amostras (36 e 44) apresentaram teor de chumbo igual ou superior ao valor de intervenção adotado para o parâmetro chumbo.

A amostra 15A está localizada na área imediatamente em frente à indústria, separada apenas pela rodovia, em uma das direções preferenciais dos ventos (oeste). A amostra foi coletada próxima a uma nascente existente no local.

A amostra 36 está localizada na linha de drenagem das águas pluviais da indústria para o córrego classe 2 que passa próximo à indústria, e é de conhecimento público que esta área foi alvo de transbordamentos da antiga estação de tratamento de efluentes (ETE) da indústria.

O ponto 44 situa-se a cerca de 2 km da indústria. No entanto, este ponto está localizado em área imediatamente vizinha a uma outra indústria, a qual fabrica baterias automotivas, que pode, então, ser a responsável pela contaminação neste ponto.

Na profundidade de 80 – 100 cm, foram coletadas na área externa da indústria 04 (quatro) amostras de solo (9, 15A, 19 e 26). Todas as amostras apresentaram teor de chumbo inferior ao valor de alerta estabelecido para solos no estado de São Paulo.

Quanto aos demais parâmetros avaliados nas amostras de solo, não foi verificada nenhuma desconformidade em nenhuma das amostras coletadas em cada profundidade amostrada.

5.1.2. Águas superficiais e sedimentos

5.1.2.1. Resultados

Na Tabela 4 e Figura 9 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de água superficial e sedimentos coletadas na campanha de investigação confirmatória realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 4 - Resultados das análises das amostras de águas superficiais e sedimentos coletadas na campanha de investigação confirmatória

Pontos	Compartimento	Teor de chumbo (mg/l)	Descrição do ponto
48	Água Superf.	< 0,002	Nasc. do córrego classe 2
49	Água Superf.	< 0,002	Lagoa formada pelo córrego após a nascente
36	Água Superf.	0,005	Córrego classe 2 logo após a ind.
40	Água Superf.	0,004	Córrego classe 2 um pouco mais à jusante da ind. do que o ponto 36
41	Água Superf.	0,002	Rio classe 4
34	Água Superf.	0,57	Saída da ETE da indústria
48	Sedimento	6,59	Nasc. do córrego classe 2
49 (0 – 10)	Sedimento	77,3	Lagoa formada pelo córrego após a nascente
49 (10 – 20)	Sedimento	76,7	Lagoa formada pelo córrego após a nascente
36	Sedimento	1580	Córrego classe 2 logo após a ind.
40	Sedimento	4,04	Córrego classe 2 um pouco mais à jusante da ind. Do que o ponto 36
41	Sedimento	7,45	Rio classe 4

Os resultados das análises das amostras de água superficial estão expressos em mg/l, enquanto os resultados das análises das amostras de sedimento estão expressos em µg/g. Padrões adotados: Sedimento: TEL = 35,00 µg/g PEL = 91,30 µg/g. Fonte: Agência Ambiental Canadense. Água Superficial: 0,03 mg/l. Fonte: Resolução CONAMA nº 20.

5.1.2.2. Análise dos resultados

Para avaliação dos resultados obtidos nas amostras de água superficial foram utilizados os valores estabelecidos na Resolução CONAMA nº 20 e no Regulamento da Lei Estadual nº 997/76, aprovada pelo Decreto nº 8468/76, considerando-se o mais restritivo.

Todas as amostras de água superficial coletadas nesta campanha apresentaram teores de chumbo inferiores ao valor estabelecido na Resolução CONAMA nº 20. Já a amostra coletada na saída da ETE da indústria apresentou teor de chumbo superior ao valor estabelecido, indicando que, mesmo estando a indústria com suas atividades paralisadas, ainda há um aporte de poluentes que pode estar atingindo o córrego classe 2.

Com relação aos demais parâmetros avaliados, todas as amostras apresentaram desconformidade no parâmetro manganês. As amostras 48 (nascente do córrego classe 2), 49 (lago do Zoológico) e 41 (rio classe 4, a jusante do córrego) apresentaram desconformidade no parâmetro alumínio, sendo que a amostra 41 apresentou desconformidade também nos parâmetros cromo e níquel, além do parâmetro oxigênio dissolvido.

O alumínio e o manganês estão presentes em grandes quantidades no solo; considerando que foi analisado nas amostras o teor de chumbo total, estas análises podem ter apontado estes parâmetros em partículas em suspensão nas amostras.

Com relação à amostra 41, a qual apresentou desconformidades com relação a outros parâmetros, tem-se que a mesma foi coletada em um rio classe 4, o qual recebe todo o esgoto doméstico do município. Desta forma, não é possível estabelecer o vínculo de contaminação com a fonte em estudo.

Com relação aos resultados obtidos nas amostras de sedimentos, das seis amostras de sedimento analisadas, três apresentaram alterações na qualidade no parâmetro chumbo. As amostras coletadas no ponto 49, tanto na profundidade de 0-10 cm como na profundidade de 10-20 cm apresentaram teores de chumbo intermediários aos valores de TEL e PEL. O ponto 49 localiza-se no lago do Jardim Zoológico. Estas amostras apresentaram desconformidades também para os parâmetros cobre, cromo e níquel.

De acordo com as conclusões do documento da CETESB Informação Técnica nº 18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02 a origem da contaminação deste ponto é desconhecida, devendo-se investigar possíveis fontes de contaminação.

No ponto 36, a amostra de sedimento foi retirada em uma alíquota (0 – 20 cm) e apresentou teor de chumbo superior ao valor estabelecido pela Agência Ambiental Canadense para PEL. Este ponto está localizado na direção da linha de drenagem de efluentes vindos da indústria para o córrego. Este ponto apresentou leve desconformidade também para o parâmetro cromo, porém o valor obtido (43,7 µg/g) foi próximo ao TEL (37,3 µg/g).

As demais amostras de sedimento coletadas não apresentaram desconformidades em relação a nenhum dos parâmetros avaliados.

5.1.3. Águas subterrâneas

5.1.3.1. Resultados

Na Tabela 5 e Figura 9 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na campanha de investigação confirmatória realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 5 - Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na campanha de investigação confirmatória

Pontos	Teor de chumbo (mg/l)	Descrição do ponto
14	< 0,002	Direção oeste/sudoeste da indústria, cerca de 400 metros (nascente)
15	0,070	Direção oeste da indústria, cerca de 350 metros (nascente)
22	< 0,002	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 370 metros (poço de abastecimento)
23	< 0,002	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 750 metros (poço de abastecimento)

Pontos	Teor de chumbo (mg/l)	Descrição do ponto
25	< 0,002	Direção sudoeste da indústria, cerca de 1700 metros (poço de abastecimento)
30	< 0,002	Direção sudoeste da indústria, cerca de 500 metros (poço de abastecimento)
31	< 0,002	Direção norte da indústria, cerca de 200 metros (poço de abastecimento)
33	< 0,002	Poço de abastecimento da indústria
37	< 0,002	Direção sul/sudoeste da indústria, cerca de 1700 metros (poço de abastecimento)
45	< 0,002	Direção sudoeste da indústria, cerca de 750 metros (poço de abastecimento do município)

Valor de Intervenção = Padrão de Potabilidade = 0,010 mg/l. Fonte: Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde.

5.1.3.2. Análise dos resultados

Para avaliação dos resultados obtidos nas amostras de água subterrânea foram utilizados os padrões de potabilidade, os quais estão estabelecidos na Portaria 1469 de 29/12/00 do Ministério da Saúde, atualizada pela Portaria 518, de 25/03/04 do Ministério da Saúde.

Das amostras coletadas, apenas a amostra 15 apresentou teor de chumbo superior ao padrão de potabilidade estabelecido para o parâmetro. Esta amostra foi coletada em uma nascente em área em frente à indústria, separada por uma rodovia.

Considerando que este ponto trata-se de uma nascente e que o solo coletado junto à mesma apresentou alteração na qualidade no parâmetro chumbo, não é possível afirmar com precisão que as águas subterrâneas estão contaminadas.

Com relação aos demais parâmetros avaliados, nenhuma das amostras apresentou desconformidade.

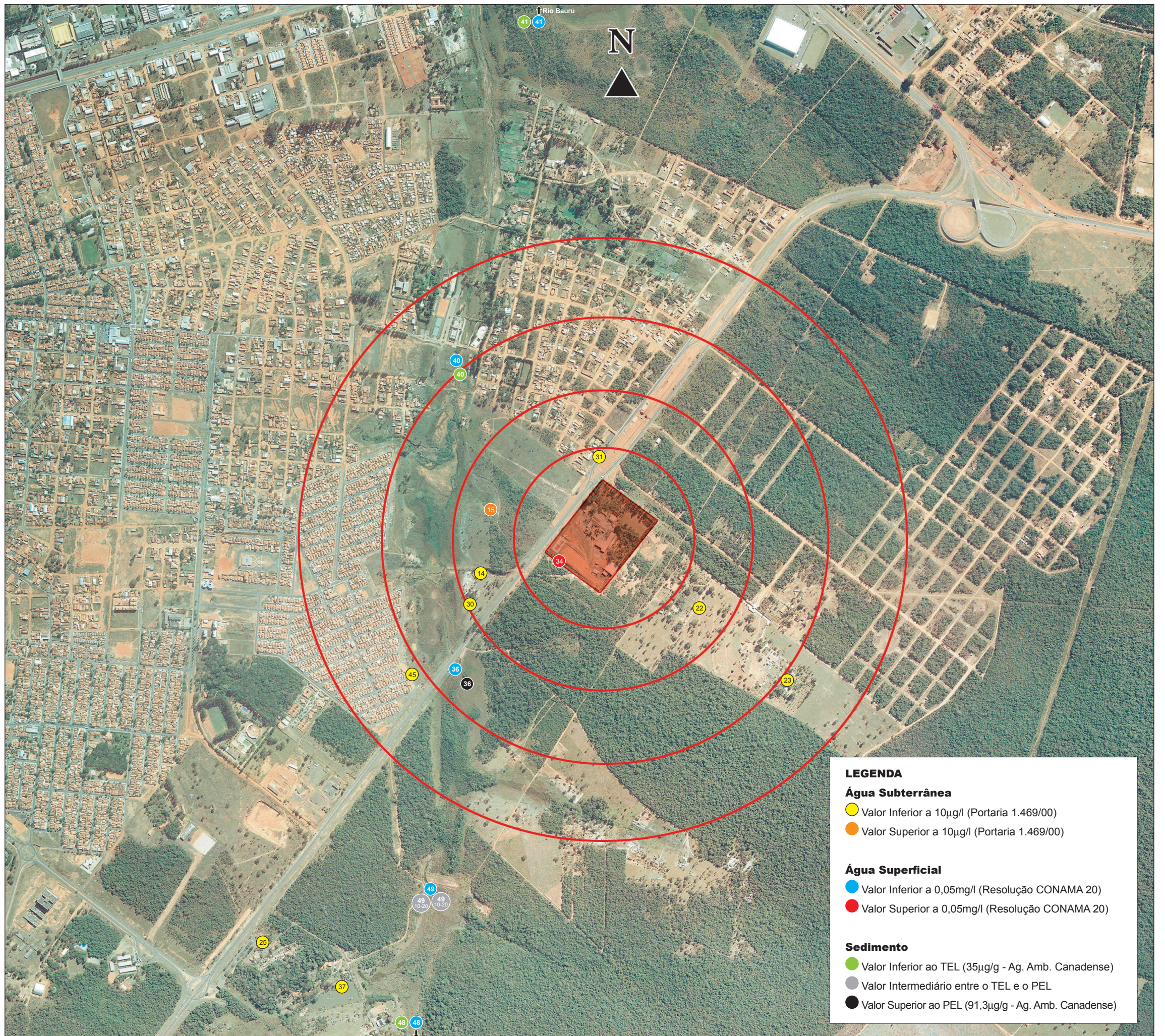


Figura 9 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de sedimento, água superficial e subterrânea para a campanha de Avaliação Confirmatória. Fonte: CETESB/2004.

5.1.4. Vegetação

5.1.4.1. Resultados

Nas Tabela 6 e Figura 10 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de vegetação coletadas na campanha de investigação confirmatória realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 6 - Resultados das análises das amostras de vegetação coletadas na campanha de investigação confirmatória

Ponto	Espécie	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição do ponto
2	Erva Cidreira	6,49	Direção noroeste, cerca de 700 metros da ind.
2	Mandioca	2,91	Direção noroeste, cerca de 700 metros da ind.
9	Hortelã	2,11	Direção norte, cerca de 800 metros da indústria
9	Alface	3,62	Direção norte, cerca de 800 metros da indústria
20	Hortelã	13,0	Direção oeste, cerca de 850 metros da indústria
20	Mandioca	2,55	Direção oeste, cerca de 850 metros da indústria
22	Amora	3,11	Direção leste, cerca de 250 metros da indústria
22	Hortelã	6,54	Direção leste, cerca de 250 metros da indústria
23	Amora	1,53	Direção leste/sudeste, cerca de 750 metros da indústria
23	Hortelã	2,05	Direção leste/sudeste, cerca de 750 metros da indústria
24	Salsa	0,66	Direção sul, cerca de 1000 metros da indústria

Ponto	Espécie	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição do ponto
24	Mandioca	2,08	Direção sul, cerca de 1000 metros da indústria
46	Couve	0,020	Direção sudoeste, cerca de 1700 metros da indústria
46	Grama	1,08	Direção sudoeste, cerca de 1700 metros da indústria

Padrão adotado para o teor máximo de chumbo permitido em vegetação em vegetação: 10,0 $\mu\text{g/g}$. Fonte: Organização Mundial de Saúde; EPA (1983).

5.1.4.2. Análise dos resultados

Seguindo os procedimentos da Informação Técnica nº 18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02, para avaliação da qualidade da vegetação, foram adotados os valores limites estabelecidos pela EPA (1983). Na área externa da indústria, apenas a amostra referente ao ponto 20 apresentou teor de chumbo superior ao valor adotado para vegetação. Neste ponto foi coletada amostra de hortelã e de mandioca.

Considerando que este ponto, onde foram coletadas estas amostras, está localizado a cerca de 1 km da indústria, porém após o vale formado pelo córrego classe 2, estando, assim, em uma altitude próxima à da indústria; considerando ainda que este ponto está localizado em uma das direções preferenciais dos ventos e que apenas a amostra de hortelã apresentou desconformidade, pode-se concluir que a contaminação se deu por deposição aérea.

Com relação aos outros parâmetros avaliados, apenas duas amostras (24 – sítio na direção do zoológico e 46 - zoológico) apresentaram desconformidade quanto ao teor de zinco. No ponto 24 foram coletadas amostras de mandioca e de salsa, sendo que foi a de salsa que apresentou desconformidade. Já no ponto 46 foram coletadas amostras de couve e grama, sendo que foi a de grama que apresentou desconformidade.

Estas amostras, conforme mencionado, estão no zoológico ou próximo a este, e de acordo com a conclusão do documento da CETESB Informação Técnica nº

18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02 deverá ser investigada a ocorrência de outras fontes de poluição.

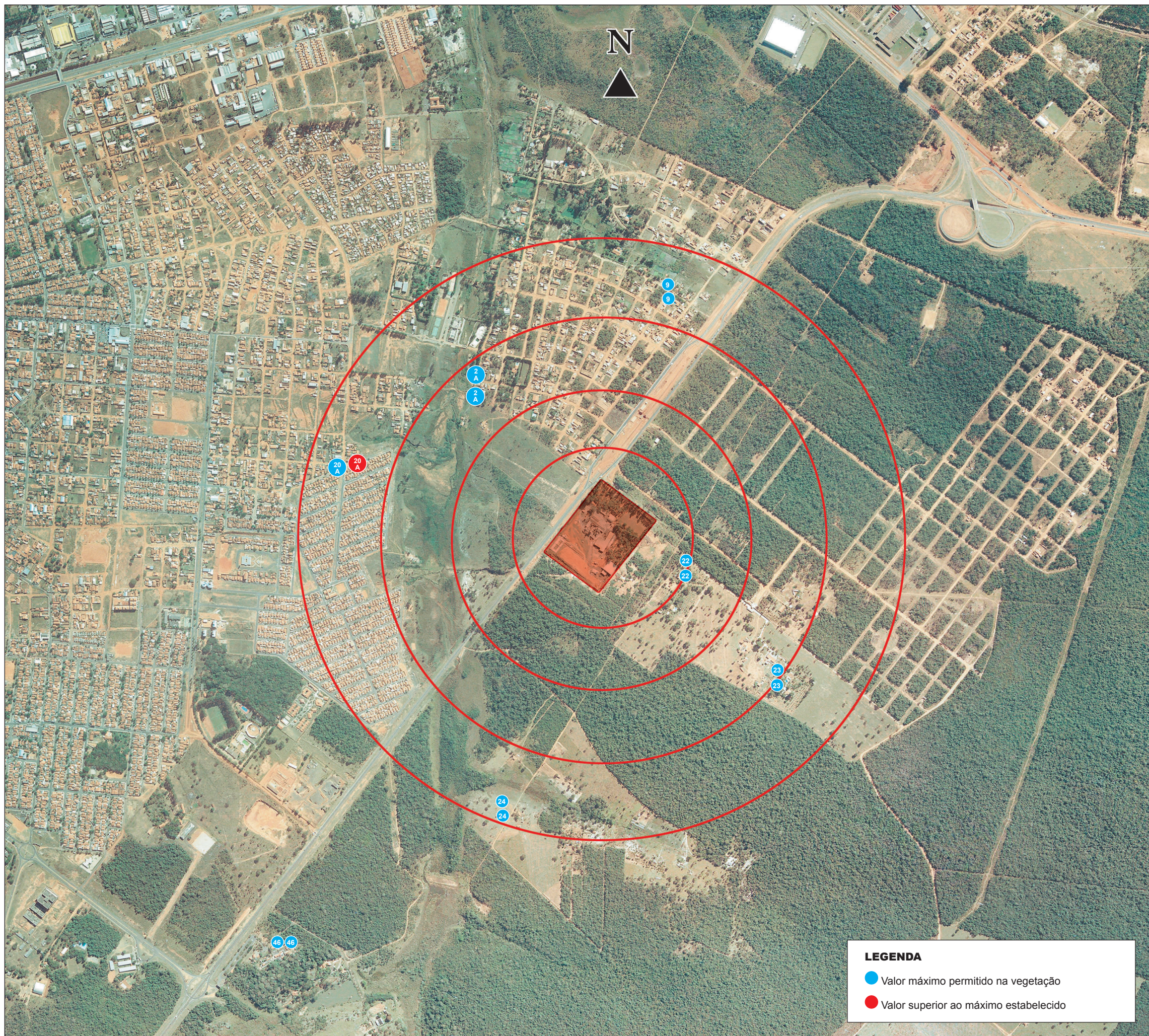


Figura 10 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de vegetação para a campanha de Avaliação Confirmatória. Fonte: CETESB/2004.

5.2. Investigação intermediária

Serão apresentados somente os resultados obtidos nas análises das amostras que foram coletadas na área externa da indústria, visto que o objetivo de apresentar esta campanha de amostragem neste trabalho é estabelecer um quadro comparativo com a fase 1 da campanha de investigação detalhada, a qual foi realizada na área externa da indústria. Como mencionado anteriormente, esta campanha é uma continuidade da campanha de investigação confirmatória.

5.2.1. Solo

5.2.1.1. Resultados

Nas Tabela 7 e Figura 11 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de solo coletadas na profundidade de 0-2 cm na campanha de investigação intermediária realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 7 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na campanha de investigação intermediária na profundidade de (0 – 2 cm)

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
1	272	Direção norte, cerca de 250 metros da indústria
2	854	Direção norte, cerca de 800 metros da indústria
3	74,5	Direção norte/noroeste, cerca de 800 metros da indústria
4	76,0	Direção noroeste, cerca de 850 metros da indústria
5	15,8	Branco de campo – Direção oeste da indústria, cerca de 6km
6	23,8	Direção norte, cerca de 1000 metros da indústria
7	18,5	Direção norte, cerca de 1000 metros da indústria
8	110	Direção oeste, cerca de 750 metros da indústria

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
9	121	Direção noroeste, cerca de 700 metros da indústria
10	44,4	Direção norte, cerca de 700 metros da indústria
11	30,3	Direção norte, cerca de 650 metros da indústria
12	117	Direção leste/sudeste, cerca de 250 metros da indústria
13	2,66E3	Direção oeste, cerca de 150 metros da indústria

Valor de Referência = 17 µg/g. Valor de Alerta = 100 µg/g. Valor de Intervenção Agrícola = 200 µg/g. Valor de Intervenção Residencial = 350 µg/g Valor de Intervenção Industrial = 1200 µg/g
 Fonte: Relatório de Valores Orientadores da CETESB.

5.2.1.2. Análise dos resultados

Para avaliação dos resultados obtidos continuou-se utilizando o valor de intervenção agrícola (200 µg/g, no caso de chumbo), apesar de os pontos terem sido coletados em áreas com características residenciais, nestes pontos o solo também é destinado para fins agrícolas, visto que grande parte das residências e chácaras possuem hortas com cultivo para consumo próprio ou venda a terceiros. Desta forma, considerou-se o valor mais restritivo.

Dos pontos avaliados, 03 (três) apresentaram teor de chumbo superior ao valor de alerta: 8 (110 µg/g), 9 (121 µg/g) e 12 (117 µg/g); e 03 (três) apresentaram teor de chumbo superior ao valor de intervenção adotado: 1 (272 µg/g), 2 (854 µg/g) e 13 (2,66E3 µg/g).

Os pontos 8 e 9 estão localizados nas direções dos ventos predominantes, sendo que o ponto 8 está localizado na direção oeste em relação à indústria e o ponto 9 está localizado na direção noroeste em relação à indústria, ambos a uma distância aproximada de 750 metros. O ponto 8 está localizado bem próximo aos pontos 17 e 18 da campanha de investigação confirmatória, sendo que nesta referida campanha estes pontos apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção utilizado (50,0 µg/g).

Já o ponto 12 está localizado em uma chácara vizinha à indústria à leste, a cerca de 250 metros. Apesar de não estar localizado em uma das direções predominantes dos ventos, está localizado em área imediatamente vizinha à área

onde se tem conhecimento de depósito de resíduos provenientes das atividades industriais exercidas no local. Este ponto corresponde ao ponto 22 da campanha de investigação confirmatória, sendo que nesta referida campanha o valor obtido (60,0 µg/g) foi um pouco superior ao limite de detecção utilizado (50,0 µg/g).

Estes resultados mostram a importância da determinação da profundidade de solo a ser avaliada, visto que pontos que estavam em conformidade, de acordo com a avaliação de solo na profundidade de 0-20 cm (investigação confirmatória), apresentaram na avaliação de solo na profundidade de 0-2cm (investigação intermediária) teores de chumbo superiores ao valor de alerta estabelecido para solos no estado de São Paulo, o que sugere o aprofundamento das investigações e monitoramento das águas subterrâneas.

Os pontos 1 e 2 estão localizados ao norte da indústria, sendo que o ponto 1 está a uma distância máxima de 250 metros e o ponto 2 a uma distância máxima de 750 metros da indústria. Estes pontos foram coletados em bairro residencial cujas ruas não são pavimentadas, bem como os quintais das residências não têm nenhuma impermeabilização.

O ponto 1 corresponde ao ponto 1 da campanha de investigação confirmatória, sendo que nesta referida campanha apresentou teor de chumbo inferior ao limite de detecção utilizado e o ponto 2, apesar de não ter nenhum ponto correspondente na campanha de investigação confirmatória está localizado próximo ao ponto 7 desta campanha, sendo que este ponto 7 apresentou teor de chumbo inferior ao valor de alerta (79,0 µg/g).

Estes resultados reiteram o quão alarmante é a escolha inadequada da profundidade de solo a ser amostrada, visto que áreas nas quais a investigação confirmatória não apontou desconformidades, apresentaram teores de chumbo superiores ao valor de intervenção adotado, colocando em risco a saúde humana. Com base nestes resultados foram realizadas ações emergenciais de raspagem de solo na área residencial localizada na porção norte/noroeste em relação à indústria.

O ponto 13 está localizado em área em frente à indústria, separada por rodovia, e apesar de não ter um ponto equivalente, está localizado próximo ao ponto 15-A da campanha de investigação confirmatória, sendo que nesta referida campanha este

ponto apresentou teor de chumbo superior ao valor de alerta, porém inferior ao valor de intervenção adotado. De qualquer forma, a área onde está localizado este ponto seria melhor investigada, mas o valor obtido nesta segunda amostragem indicou que a área já deveria ser objeto de intervenção.

Os resultados obtidos nessa campanha revelaram a existência de um ciclo de contaminação, principalmente em crianças, devido ao ciclo mão-boca, visto que as crianças após contato com solo contaminado acabam levando a mão à boca.

5.2.2. Ações emergenciais

Os resultados obtidos na investigação intermediária de solo superficial, na camada de 0-2 cm, somado aos resultados das análises de alimentos coletados nos meses de março e abril de 2002, nas proximidades da indústria, pela Vigilância Sanitária, resultaram nas seguintes ações e/ou recomendações: Restrição ao consumo de alimentos produzidos na área e Saneamento das habitações por meio das seguintes ações:

- Impermeabilização de pisos no interior de residências;
- Limpeza e aspiração da poeira sedimentada em mobília, pisos e estrutura das casas;
- Limpeza e vedação de caixas d'água;
- Remoção de 5 cm de solo em áreas não edificadas dos lotes e das ruas e calçadas sem pavimentação.

As ações acima descritas foram realizadas no bairro residencial, localizado ao norte da indústria e em parte de bairro residencial localizado na porção noroeste em relação à indústria. Para a execução das atividades, a prioridade de ações foi dada considerando-se a presença de crianças com altas taxas de chumbo no sangue, a proximidade da indústria e a direção dos ventos predominantes.

Estes trabalhos resultaram de ações conjuntas das Secretarias Estadual e Municipal de Saúde, da Prefeitura do Município, por meio do Departamento de

Águas e Esgotos e da Secretaria de Obras, além da CETESB. Trataram-se de ações prioritárias, em caráter emergencial, para redução do índice de chumbo no sangue das crianças.

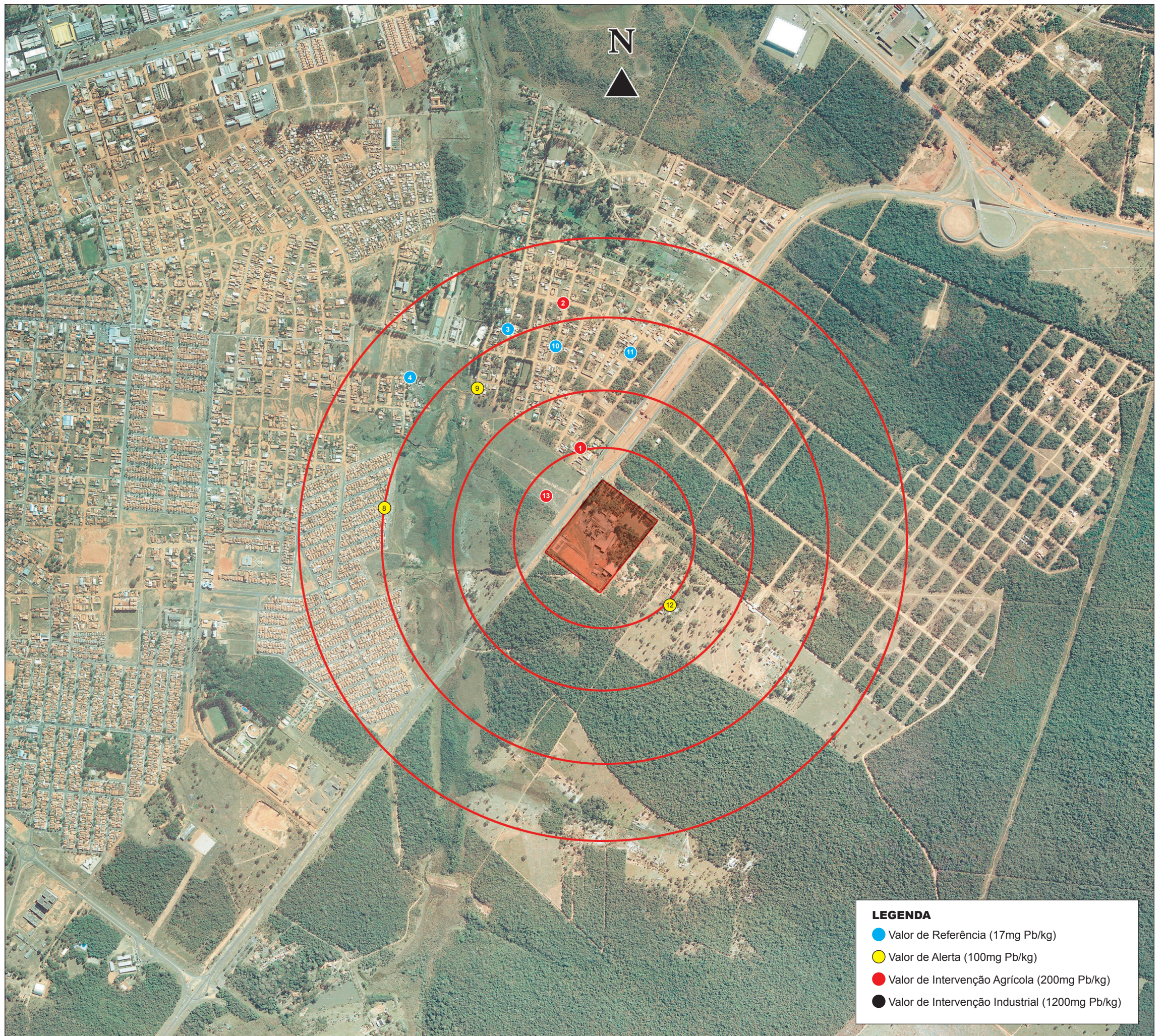


Figura 11 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 0 a 2 para a campanha de Avaliação Intermediária. Fonte: CETESB/2004.

5.2.3. Águas subterrâneas

5.2.3.1. Resultados

Nas Tabela 8 e Figura 12 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na campanha de investigação intermediária realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 8 - Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na campanha de investigação intermediária

Pontos	Teor de chumbo (mg/l)	Descrição do ponto
14	< 0,002	Direção norte da indústria, cerca de 250 metros (poço de abastecimento)
15	< 0,002	Direção norte da indústria, cerca de 750 metros (poço de abastecimento)
16	0,060	Direção oeste da indústria, cerca de 300 metros (nascente)

Valor de Intervenção = Padrão de Potabilidade = 0,010 mg/l. Fonte: Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde

5.2.3.2. Análise dos resultados

Das amostras coletadas, apenas a amostra 16 apresentou teor de chumbo superior ao padrão de potabilidade estabelecido para o parâmetro. Esta amostra foi coletada em uma nascente em área em frente à indústria, separada por rodovia e corresponde ao ponto 15 da campanha de investigação confirmatória.

Considerando que este ponto apresentou alteração também na campanha de investigação confirmatória é possível que ele esteja refletindo a contaminação das águas subterrâneas. Será melhor investigado até mesmo por se tratar de nascente, visto que a amostra coletada pode conter partículas de solo, as quais poderão estar contaminadas, e terem causado interferência na avaliação da amostra de água, já que foi analisado o teor de chumbo total e não o teor de chumbo dissolvido (amostra filtrada).

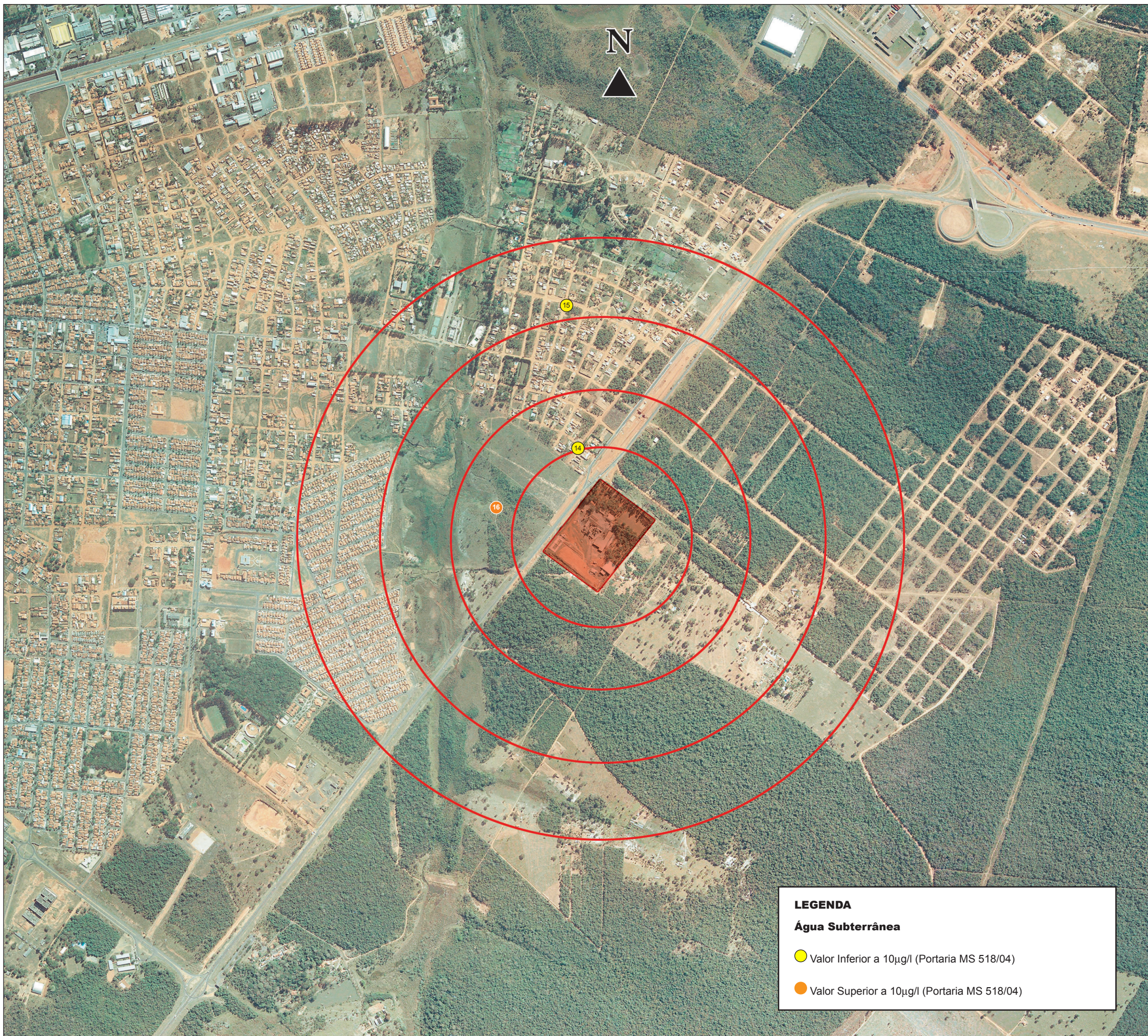


Figura 12 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de água subterrânea para a campanha de Avaliação Intermediária. Fonte: CETESB/2004.

5.3. Fase I da investigação detalhada

Como já mencionado a campanha de investigação detalhada dividiu-se em duas fases. Neste trabalho será abordada a fase I, a qual se referiu à área externa da indústria, atingindo a área compreendida pela circunferência de raio de 1km em torno da indústria. Foram avaliados solo, águas, sedimentos e vegetação.

5.3.1. Solo

5.3.1.1. Resultados

Nas Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11, Figura 13, Figura 14 e Figura 15 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-2 cm, 30-50 cm e 80-100 cm, respectivamente, na fase 1 da campanha de investigação detalhada realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 9 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada na profundidade de (0 - 2 cm)

Pontos	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição da localização
2 (PN26)	1,57E3	Direção sudeste, cerca de 100 metros da indústria
3	90,0	Direção sul, cerca de 200 metros da indústria
4	292	Direção sudoeste, cerca de 250 metros da indústria
5	425	Direção leste, cerca de 100 metros da indústria
6	1,77E3	Direção noroeste, cerca de 100 metros da indústria
7	154	Direção leste, cerca de 450 metros da indústria
8 (PN27)	< 8,00	Direção leste, cerca de 700 metros da indústria
9 (PN28)	< 8,00	Direção leste, cerca de 1200 metros da indústria

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
11 (PN22A)	489	Direção leste, cerca de 250 metros da indústria
12 (PN22B)	118	Direção sudeste, cerca de 300 metros da indústria
13 (PN23A)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 675 metros da indústria
14 (PN23B)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 450 metros da indústria
16 (PN23C)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 875 metros da indústria
18	< 8,00	Direção leste, cerca de 900 metros da indústria
19	73,3	Direção nordeste, cerca de 700 metros da indústria
20 (PN29)	141	Direção nordeste, cerca de 500 metros da indústria
21	< 8,00	Direção nordeste, cerca de 950 metros da indústria
22	53,6	Direção sudoeste, cerca de 1000 metros da indústria
23	< 8,00	Direção sudoeste, cerca de 750 metros da indústria
24 (PN36)	106	Direção sudoeste, cerca de 625 metros da indústria
25	148	Direção sudoeste, cerca de 550 metros da indústria
26 (PN24)	< 8,00	Direção sul, cerca de 1000 metros da indústria
27	128	Direção sul, cerca de 500 metros da indústria
28	53,8	Direção sul, cerca de 750 metros da indústria
29	< 8,00	Direção sul, cerca de 1000 metros da indústria
30 (PN1)	< 8,00	Direção norte, cerca de 250 metros da indústria
31 (PN3)	111	Direção norte, cerca de 450 metros da indústria
32 (PN6)	< 8,00	Direção norte, cerca de 700 metros da indústria
33 (PN10)	< 8,00	Direção norte, cerca de 1200 metros da indústria
35 (PN9)	< 8,00	Direção norte, cerca de 850 metros da indústria
36 (PN11)	< 8,00	Direção norte, cerca de 1000 metros da indústria
37 (PN7)	< 8,00	Direção norte, cerca de 850 metros da indústria
38 (PN4)	< 8,00	Direção noroeste, cerca de 700 metros da indústria

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
40 (PN5)	71,4	Direção norte, cerca de 700 metros da indústria
41 (PN2)	< 8,00	Direção norte/noroeste, cerca de 500 metros da indústria
42 (PN12)	140	Direção noroeste, cerca de 1000 metros da indústria
43 (PN13)	58,9	Direção noroeste, cerca de 875 metros da indústria
44	82,9	Direção noroeste, cerca de 750 metros da indústria
45	413	Direção oeste, cerca de 250 metros da indústria
46	287	Direção oeste, cerca de 250 metros da indústria
49	140	Direção oeste, cerca de 500 metros da indústria
50 (PN15)	365	Direção oeste, cerca de 375 metros da indústria
51 (PN19)	< 8,00	Direção oeste, cerca de 1300 metros da indústria
52	< 8,00	Direção oeste, cerca de 1000 metros da indústria
53 (PN21)	< 8,00	Direção oeste/sudoeste, cerca de 900 metros da indústria
54 (PN18)	< 8,00	Direção oeste, cerca de 750 metros da indústria
56	131	Direção noroeste, cerca de 500 metros da indústria
60 (PN20A)	< 8,00	Direção noroeste/oeste, cerca de 875 metros da indústria
61 (PN16)	52,0	Direção noroeste/oeste, cerca de 800 metros da indústria

Valor de Referência = 17 µg/g. Valor de Alerta = 100 µg/g. Valor de Intervenção Agrícola = 200 µg/g. Valor de Intervenção Residencial = 350 µg/g Valor de Intervenção Industrial = 1200 µg/g
Fonte: Relatório de Valores Orientadores da CETESB.

Tabela 10 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada na profundidade de (30 - 50 cm)

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
2 (PN26)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 100 metros da indústria
4	< 8,00	Direção sudoeste, cerca de 250 metros da indústria
5	< 8,00	Direção leste, cerca de 100 metros da indústria
11 (PN22A)	< 8,00	Direção leste, cerca de 250 metros da indústria
12 (PN22B)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 300 metros da indústria
19	< 8,00	Direção nordeste, cerca de 700 metros da indústria
20 (PN29)	< 8,00	Direção nordeste, cerca de 500 metros da indústria
24 (PN36)	915	Direção sudoeste, cerca de 625 metros da indústria
25	< 8,00	Direção sudoeste, cerca de 550 metros da indústria
45	51,7	Direção oeste, cerca de 250 metros da indústria
46	< 8,00	Direção oeste, cerca de 250 metros da indústria
50 (PN15)	< 8,00	Direção oeste, cerca de 375 metros da indústria
51 (PN19)	< 8,00	Direção oeste, cerca de 1300 metros da indústria

Valor de Referência = 17 µg/g. Valor de Alerta = 100 µg/g. Valor de Intervenção Agrícola = 200 µg/g. Valor de Intervenção Residencial = 350 µg/g Valor de Intervenção Industrial = 1200 µg/g
 Fonte: Relatório de Valores Orientadores da CETESB.

Tabela 11 - Resultados das análises das amostras de solo coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada na profundidade de (80 - 100 cm)

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
2 (PN26)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 100 metros da indústria
4	< 8,00	Direção sudoeste, cerca de 250 metros da indústria
5	< 8,00	Direção leste, cerca de 100 metros da indústria
11 (PN22A)	< 8,00	Direção leste, cerca de 250 metros da indústria

Pontos	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
12 (PN22B)	< 8,00	Direção sudeste, cerca de 300 metros da indústria
19	< 8,00	Direção nordeste, cerca de 700 metros da indústria
20 (PN29)	< 8,00	Direção nordeste, cerca de 500 metros da indústria
24 (PN36)	356	Direção sudoeste, cerca de 625 metros da indústria
25	< 8,00	Direção sudoeste, cerca de 550 metros da indústria
45	< 8,00	Direção oeste, cerca de 250 metros da indústria
46	< 8,00	Direção oeste, cerca de 250 metros da indústria
50 (PN15)	< 8,00	Direção oeste, cerca de 375 metros da indústria
51 (PN19)	< 8,00	Direção oeste, cerca de 1300 metros da indústria

Valor de Referência = 17 µg/g. Valor de Alerta = 100 µg/g. Valor de Intervenção Agrícola = 200 µg/g. Valor de Intervenção Residencial = 350 µg/g Valor de Intervenção Industrial = 1200 µg/g
 Fonte: Relatório de Valores Orientadores da CETESB.

5.3.1.2. Análise dos resultados

Os resultados desta campanha serão discutidos neste item, buscando-se relacioná-los com os resultados obtidos nas campanhas de investigação confirmatória e intermediária. Apesar de na campanha de investigação confirmatória as amostras de solo terem sido coletadas nas profundidades de 0-20 cm e de 80-100 cm; na campanha de investigação intermediária as amostras de solo terem sido coletadas na profundidade de 0-2 cm; e na primeira fase da campanha de investigação detalhada as amostras terem sido coletadas nas profundidades de 0-2 cm, 30-50 cm e de 80-100 cm, estes resultados serão relacionados uns com os outros, no que couber

Como mencionado anteriormente, para avaliação dos resultados obtidos foi utilizado o valor de intervenção agrícola (200 µg/g).

A análise de amostras coletadas na camada de 0-2 cm indica se a contaminação se deu por deposição atmosférica.

Das amostras retiradas a distâncias aproximadas de 250 metros do centro da indústria (2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 30, 45, 46 e 50) tem-se que na camada de 0 – 2 cm todas as amostras apresentaram teores de chumbo superiores ao valor de intervenção adotado, com exceção das amostras 3, 12 e 30. Enquanto que nas camadas de 30-50 cm e de 80-100 cm, apenas a amostra 45 apresentou pequena alteração (51,7 µg/g) na qualidade no parâmetro chumbo na profundidade de 30-50 cm, enquanto que na avaliação de solo na profundidade de 80-100 cm, nenhuma destas amostras apresentou alteração de qualidade no parâmetro chumbo.

As amostras 2, 11, 12, 30 e 50 tiveram como equivalentes na campanha de investigação confirmatória as amostras 26, 22A, 22B, 1 e 15A, respectivamente. Cabe ressaltar que os pontos 22A (489 µg/g) e 22B (118 µg/g) correspondem ao ponto 22 (60 µg/g) da campanha de investigação confirmatória. Porém, na investigação confirmatória a amostra foi composta com alíquotas coletadas nos setores denominados A e B da chácara avaliada, podendo, o maior número de alíquotas, gerado uma diluição no teor de chumbo. As demais amostras coletadas no raio de 250 metros em torno da indústria, não possuem equivalentes em outras campanhas, com exceção da amostra 45, a qual corresponde à amostra 13 da investigação intermediária. Na investigação intermediária o valor obtido (2,66E3 µg/g) foi extremamente superior ao valor obtido na campanha de investigação detalhada (413 µg/g). Esta diferença pode ser devido à amplitude da área amostrada, visto que na investigação intermediária a amostra foi composta por pontos mais próximos à rodovia, e, portanto, mais próximos à indústria, enquanto que na campanha de investigação detalhada a amostra foi composta por pontos um pouco mais afastados da rodovia, como pode se observar nos mapas em anexo. Outra hipótese que deve ser considerada é que existe a possibilidade de ter havido dispersão de material contaminado pela ação do vento e até mesmo da chuva, considerando-se principalmente que o ponto está situado na direção do principal vento predominante.

Os resultados obtidos nas análises das amostras 2, 11, 12 e 50 da campanha de investigação detalhada mostram a importância na escolha da profundidade de solo a ser avaliada, visto que nestes pontos os valores obtidos na avaliação de solo na

profundidade de 0-2 cm apontaram teores de chumbo muito mais elevados do que quando avaliado o solo, nos mesmos pontos, na profundidade de 0-20 cm.

A amostra 3 está localizada em área de mata nativa, com vegetação do tipo cerrado. O valor obtido para o teor de chumbo nesta amostra (90,0 µg/g) foi inferior ao valor de alerta, porém próximo a este. Desta forma, apesar da grande proximidade da indústria, a vegetação pode ter protegido o solo local.

A amostra 12 foi coletada em chácara vizinha à indústria, à leste. O valor obtido foi um pouco superior (118 µg/g) ao valor de alerta. Trata-se de uma área de pastagem a qual não está localizada na direção dos ventos predominantes. Desta forma, a vegetação coletada neste ponto pode representar de forma mais significativa a contaminação do local. Esta amostra corresponde à amostra 22 da campanha de investigação confirmatória, na qual o solo foi avaliado na profundidade de 0-20 cm e o valor obtido foi de 60,0 µg/g; na campanha de investigação intermediária, na qual o solo foi avaliado na profundidade de 0-2 cm, corresponde à amostra 12 e o valor obtido foi de 117 µg/g. O que se pôde perceber é que na mesma profundidade avaliada os resultados foram semelhantes, o que era esperado, visto que esta área não passou por nenhuma intervenção. O menor teor de chumbo encontrado na profundidade avaliada de 0-20 cm confirma a teoria de que o chumbo fica retido na camada mais superficial do solo. Tal afirmação é reiterada quando se observam os valores obtidos nesta campanha, no mesmo ponto 12, nas profundidades de 30-50 cm e de 80-100 cm, visto que os valores obtidos nestas avaliações foram inferiores ao limite de detecção utilizado (8,00 µg/g).

A amostra 30 está localizada na área que passou pela ação emergencial, na qual as ruas e quintais do bairro residencial localizado à norte/noroeste da indústria foram raspados. Desta forma, o resultado obtido (< 8,00 µg/g) é decorrente das ações de remediação tomadas. Esta amostra corresponde à amostra 1 da campanha de investigação confirmatória, na qual o solo foi avaliado na profundidade de 0-20 cm e o valor obtido foi inferior ao limite de detecção utilizado nesta campanha (< 50,0 µg/g); na campanha de investigação intermediária, na qual o solo foi avaliado na profundidade de 0-2 cm, corresponde à amostra 1 e o valor obtido foi de 272

$\mu\text{g/g}$, portanto, superior ao valor de intervenção adotado, o que justificou as ações emergenciais tomadas nesta área.

No raio de 500 metros em torno da indústria, a maior parte dos pontos amostrados apresentou teor de chumbo superior ao valor de alerta (7, 20, 24, 25, 27, 31, 49 e 56) porém seus valores foram inferiores ao valor de intervenção adotado. Os demais pontos amostrados nesta distância (14 e 41) apresentaram teores de chumbo inferiores ao valor de alerta. É importante observar que com o aumento da distância do ponto amostrado até a indústria, houve uma redução na concentração do contaminante. Observando-se os mapas fica claro o avanço da pluma de contaminação, mesmo que estes ainda sejam um retrato bidimensional da área contaminada.

As amostras 14, 20, 24, 31 e 41 tiveram como equivalentes na campanha de investigação confirmatória as amostras 23B, 29, 36, 3 e 2, respectivamente. Cabe ressaltar que a amostra 23 da campanha de investigação confirmatória foi composta por alíquotas (23A, 23B e 23 C) que foram coletadas nos setores denominados A, B e C da chácara avaliada.

A amostra 14 foi coletada na chácara vizinha à indústria à leste, na direção oposta aos ventos predominantes, e a amostra 41 foi coletada na área que sofreu ação emergencial de raspagem de ruas e quintais. Em ambas as campanhas, as análises de solo realizadas no ponto 14 apontaram teores de chumbo inferiores aos limites de detecção utilizados. O ponto 41 apresentou nesta campanha teor de chumbo inferior ao limite de detecção utilizado ($8,00 \mu\text{g/g}$), porém na campanha de investigação confirmatória o teor obtido foi próximo ao valor de alerta ($79,0 \mu\text{g/g}$). Este fato é justificado por meio da localização desse ponto, o qual está localizado no bairro residencial que sofreu a ação emergencial de raspagem de solo superficial de ruas e quintais.

Os resultados obtidos nas análises das amostras 20 ($141 \mu\text{g/g}$) e 31 ($112 \mu\text{g/g}$) nesta campanha, apontam mais uma vez que o chumbo fica retido nos primeiros 2 cm de solo, uma vez que as análises das amostras coletadas nesses pontos na profundidade de 0-20 cm, na campanha de investigação confirmatória, apresentaram teores de chumbo inferiores ao limite de detecção utilizado ($50,0 \mu\text{g/g}$). O ponto 31,

apesar de estar localizado no bairro residencial que sofreu ação emergencial, está em terreno vazio coberto por vegetação, não tendo sido, então, objeto da raspagem superficial do solo.

O ponto 24 apresentou teor de chumbo ($106 \mu\text{g/g}$) na campanha de investigação detalhada ligeiramente superior ao valor de alerta, enquanto que na campanha de investigação confirmatória o valor obtido foi igual ao valor de intervenção adotado ($200 \mu\text{g/g}$). Na campanha de investigação confirmatória este ponto foi avaliado somente na profundidade de 0-20 cm, mas na campanha de investigação detalhada este ponto foi avaliado também nas profundidades de 30-50 cm e 80-100 cm, além da profundidade de 0-2 cm. Os resultados obtidos na campanha de investigação detalhada apontam uma maior concentração do chumbo na profundidade de 30-50 cm ($915 \mu\text{g/g}$), sendo que a avaliação do mesmo ponto, na profundidade de 80-100 cm, aponta um teor de chumbo também superior ao valor de intervenção adotado ($356 \mu\text{g/g}$).

Este ponto 24 está localizado na linha de drenagem da estação de tratamento de efluentes industriais da indústria até o córrego classe 2. Considerando que a indústria tem histórico de transbordamentos e ruptura da estação de tratamento de efluentes líquidos industriais, e que sob condições ácidas o chumbo pode lixiviar e considerando ainda os resultados obtidos nas duas campanhas de investigação nesse ponto, o mesmo deverá ser minuciosamente estudado.

Os demais pontos amostrados, nas distâncias de 750 e 1000 metros da indústria, apresentaram teores de chumbo inferiores ao valor de alerta estabelecido para o parâmetro, exceto o ponto 42, que apresentou valor superior ao de alerta ($140 \mu\text{g/g}$), porém inferior ao valor de intervenção adotado. Este ponto está situado na direção do principal vento predominante e em uma altitude mais elevada que os demais pontos, visto que situa-se após o vale formado pelo córrego classe 2, estando em uma altitude próxima à da indústria, o que pode estar indicando que o relevo atuou como uma barreira para a dispersão da contaminação.

Este ponto tem como equivalente na campanha de investigação confirmatória o ponto 12, no entanto, nesta referida campanha, o valor obtido foi inferior ao limite de detecção utilizado ($50,0 \mu\text{g/g}$). Considerando a localização do ponto, bem como a

distância deste até à indústria, este resultado pode indicar que a contaminação se deu por deposição atmosférica. Considerando ainda que pontos avaliados na campanha de investigação intermediária nesta mesma direção (4, 9 e 13), apresentaram teores de chumbo elevados, maiores quanto mais próximos à indústria, é possível que a contaminação do ponto 42 tenha ocorrido após a paralisação da fonte primária (indústria), visto existirem fontes secundárias, as quais correspondem às áreas com contaminação comprovada. Desta forma, partículas de solo contaminadas provenientes de outros pontos, podem ter sido carregadas pela ação do vento.

Nas profundidades de 30 – 50 e de 80 – 100 cm apenas a amostra 24 apresentou teor de chumbo superior ao valor de intervenção, conforme comentado anteriormente. As demais amostras coletadas nessas profundidades apresentaram teores de chumbo inferiores inclusive ao limite de detecção utilizado pelo laboratório da CETESB (8,00 µg/g).

Com relação aos outros metais que foram analisados em parte das amostras, houve valores em desconformidade apenas para o parâmetro antimônio, sendo superiores ao valor de intervenção adotado (5,00 µg/g). Cabe ressaltar que na campanha de investigação confirmatória, nas amostras analisadas, este parâmetro não se apresentou em desconformidade. Assim, tem-se que na campanha de investigação detalhada, na camada de 0-2 cm, verificaram-se desconformidades para as amostras 02 (10,5 µg/g), 04 (6,75 µg/g), 05 (6,25 µg/g), 11 (7,75 µg/g), 12 (8,75 µg/g), 46 (10,2 µg/g) e 50 (5,10 µg/g); na camada de 30-50 cm, verificaram-se desconformidades para as amostras 05 (8,00 µg/g), 11 (6,25 µg/g), 12 (6,75 µg/g) e 24 (7,25 µg/g); e na camada de 80-100 cm, verificaram-se desconformidades para as amostras 02 (7,50 µg/g), 05 (7,25 µg/g), 11 (9,00 µg/g) e 12 (6,00 µg/g).

Face ao exposto, tem-se que as amostras 02, 05, 11 e 12, as quais foram analisadas nas três camadas tanto quanto ao teor de chumbo como de antimônio, apresentaram, na camada de 0-2 cm, teores de chumbo superiores ao valor de intervenção adotado, enquanto que nas camadas de 30-50 cm e de 80-100 cm, os valores obtidos nas análises destas amostras para o parâmetro chumbo foram inferiores ao limite de detecção utilizado. No entanto, para o parâmetro antimônio, as amostras 5, 11 e 12 apresentaram nas três camadas teores superiores ao valor de

intervenção adotado, o que nos sugere que o antimônio pode ter uma mobilidade maior que o chumbo. Quanto à amostra 2, os valores obtidos nas camadas de 0-2 cm e de 80-100 cm foram superiores ao valor de intervenção adotado para o antimônio, sugerindo que pode estar havendo lixiviação do antimônio, porém o resultado obtido na camada de 30-50 cm não nos permite chegar a uma conclusão mais precisa, visto que o limite de detecção utilizado foi alto (5,00 µg/g), devendo este ponto ser melhor investigado.

A amostra 4 foi analisada apenas na camada de 0-2 cm para o parâmetro antimônio, sendo que o valor obtido nesta profundidade para o parâmetro chumbo foi superior ao valor de intervenção adotado. Este resultado indica que possivelmente o antimônio tem comportamento semelhante ao do chumbo.

As amostras 24, 46 e 50 foram analisadas nas três profundidades tanto para o parâmetro chumbo como para o antimônio. A amostra 24, como comentado anteriormente, apresentou para o parâmetro chumbo, o maior valor na camada de 30-50 cm, sendo que esta foi a única camada na qual o teor de antimônio se apresentou em desconformidade. Já as amostras 46 e 50 apresentaram desconformidade para o antimônio apenas na camada de 0-2 cm, sendo que esta foi a única camada na qual o chumbo apresentou teor superior ao valor de intervenção adotado, sendo que nas camadas de 30-50 cm e de 80-100 cm o teor de chumbo foi inferior ao limite de detecção utilizado.

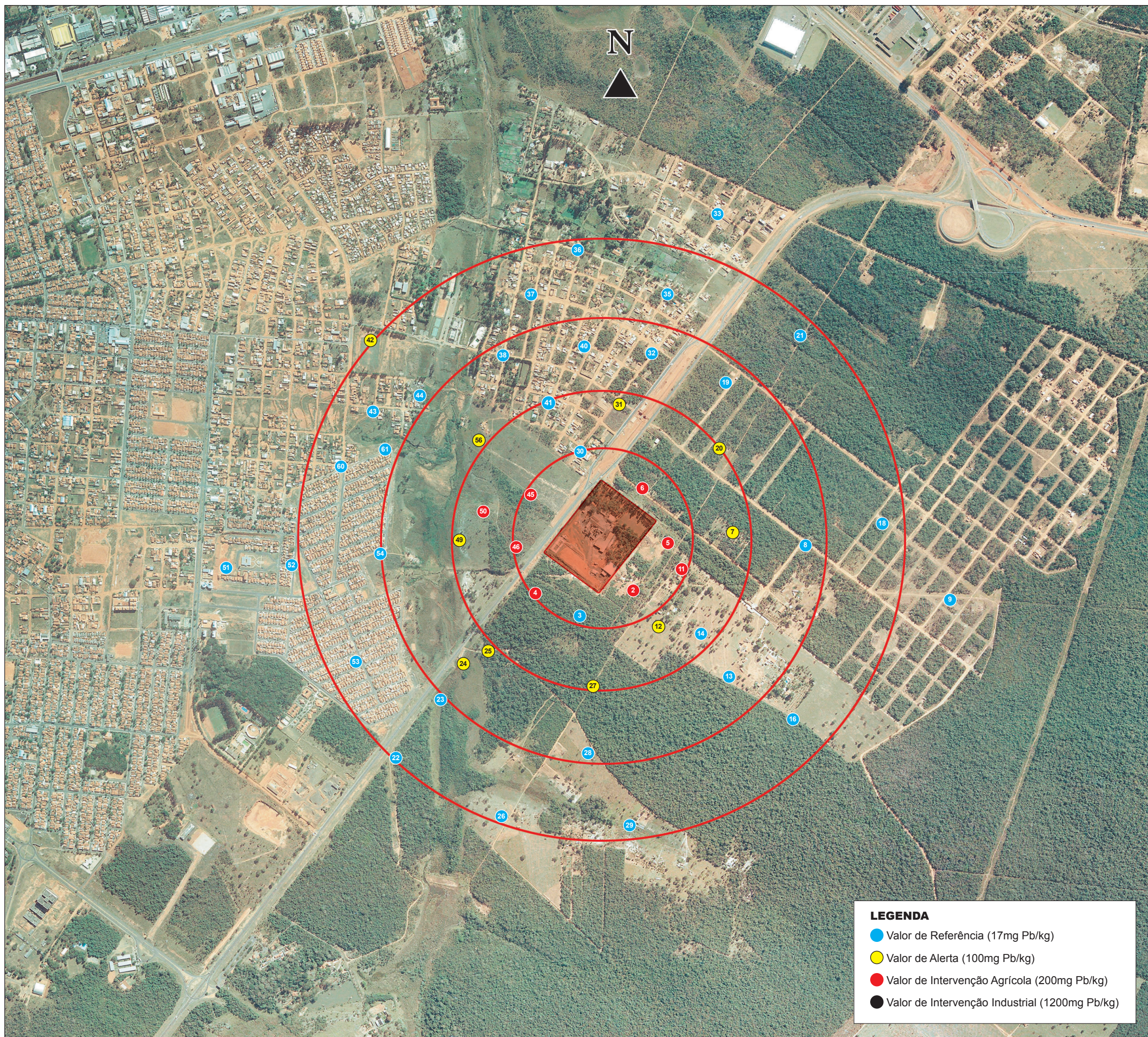


Figura 13 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 0 a 2 cm na campanha de Investigação Detalhada (Fase I). Fonte: CETESB/2004.

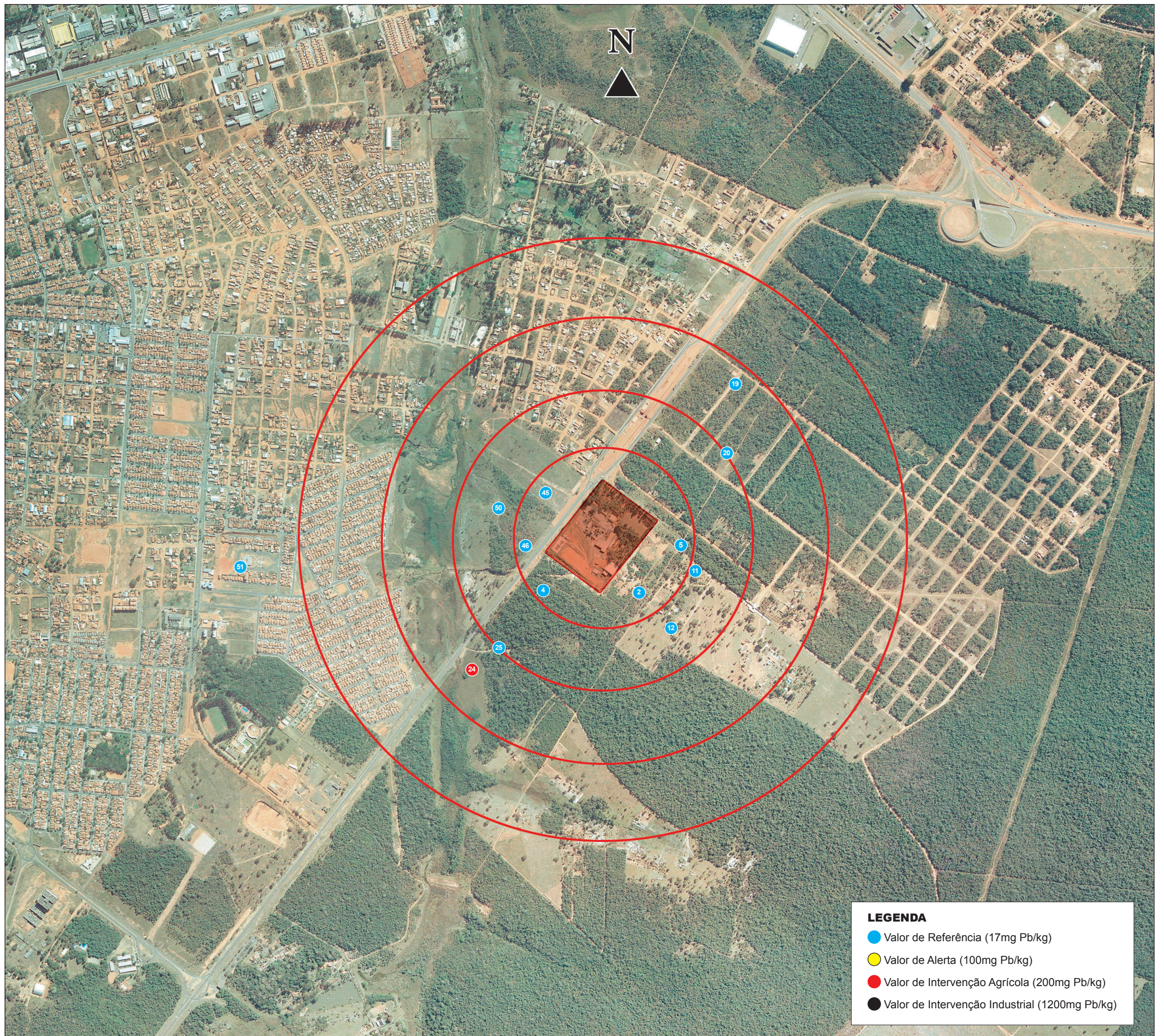


Figura 14 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 30 a 50 cm na campanha de Investigação Detalhada (Fase I). Fonte: CETESB/2004.

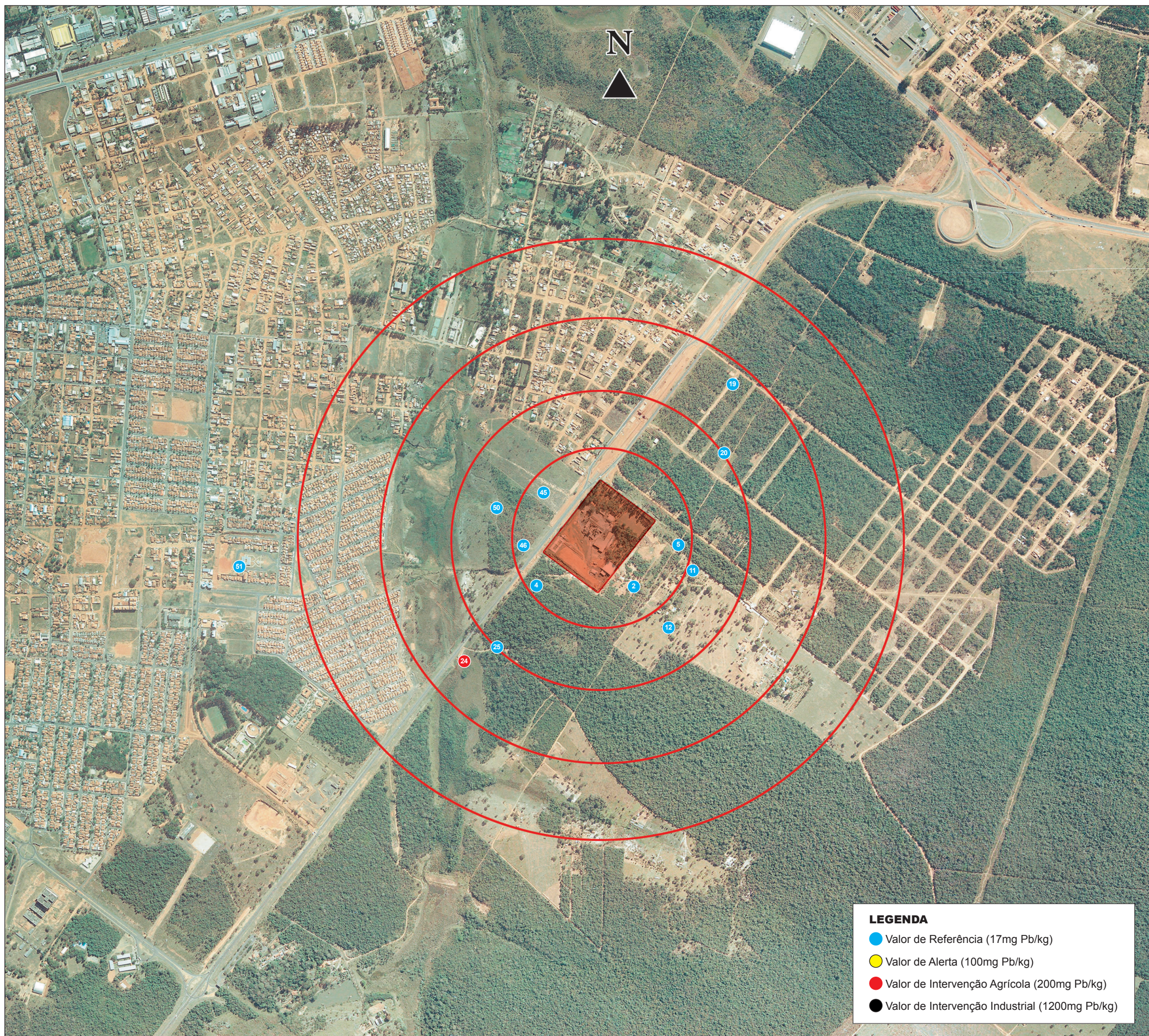


Figura 15 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de solo superficial na profundidade de 80 a 100 cm na campanha de Investigação Detalhada (Fase I). Fonte: CETESB/2004.

5.3.2. Águas superficiais e sedimentos

5.3.2.1. Resultados

Na Tabela 12 e Figura 16 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de águas superficiais e sedimentos coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 12 - Resultados das análises das amostras de águas superficiais e sedimentos coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada

Ponto	Compartimento	Teor de chumbo (mg/l)	Descrição da localização
57	Água Superficial	0,004	Nascente do córrego classe 2
58	Água Superficial	0,005	Córrego classe 2/ Prox. à nascente
59 (= 24)	Água Superficial	0,020	Córrego classe 2
63	Água Superficial	0,020	Córrego classe 2
64	Água Superficial	0,020	Córrego classe 2
58 (0-10)	Sedimento	< 8,00	Córrego classe 2/ Prox. à nascente
58 (10-20)	Sedimento	< 8,00	Córrego classe 2/ Prox. à nascente
57(0-10)	Sedimento	< 8,00	Nascente do córrego classe 2
57(10-20)	Sedimento	< 8,00	Nascente do córrego classe 2
59 (0-10)	Sedimento	73,1	Córrego classe 2
59 (10-20)	Sedimento	193	Córrego classe 2
63	Sedimento	< 8,00	Córrego classe 2
64	Sedimento	< 8,00	Córrego classe 2

Os resultados das análises das amostras de água superficial estão expressos em mg/l, enquanto os resultados das análises das amostras de sedimento estão expressos em µg/g. Padrões adotados: Sedimento: TEL = 35,00 µg/g PEL = 91,30 µg/g. Fonte: Agência Ambiental Canadense. Água Superficial: 0,03 mg/l. Fonte: Resolução CONAMA nº 20.

5.3.2.2. Análise dos resultados

Todas as amostras de água superficial coletadas em corpos d'água nesta campanha apresentaram teores de chumbo inferiores ao valor estabelecido na Resolução CONAMA nº 20 ou no Decreto Estadual nº 8468/76.

Com relação aos demais parâmetros analisados, houve desconformidade apenas nos parâmetros alumínio e manganês. Sendo que o alumínio se apresentou desconforme nas amostras 59, 63 e 64 e o manganês nas amostras 57, 63 e 64. Apesar das amostras 59, 63 e 64 estarem à jusante da indústria, deve-se considerar que os estes parâmetros estão se apresentando desconformes em vários corpos d'água, de acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2003 (CETESB). Estas desconformidades podem ser decorrentes da constituição das rochas e da geologia local, e também dos sedimentos em suspensão, os quais podem ter carreado material de áreas agrícolas.

A única amostra de sedimento, a qual foi coletada no ponto 59, que não apresentou conformidade com os padrões adotados para o parâmetro chumbo está situada próxima ao ponto 24 de solo, estando situada na linha de drenagem de efluentes da indústria para o córrego classe 2. Nesta campanha a amostra foi coletada em duas alíquotas: 0-10 cm e 10-20 cm e corresponde ao ponto 36 da campanha de investigação confirmatória.

A amostra retirada na profundidade de 0–10 cm apresentou teor de chumbo superior ao TEL (73,1 µg/g), indicando apenas uma pequena alteração na qualidade do sedimento, quanto ao parâmetro chumbo, no ponto de coleta da amostra.

Já a amostra retirada na profundidade de 10–20 cm apresentou teor de chumbo superior ao PEL (193 µg/g), indicando a possibilidade de causar efeitos adversos severos sobre organismos aquáticos.

É difícil estabelecer uma comparação com a amostra coletada no mesmo ponto na campanha de investigação confirmatória porque nesta campanha a amostra foi retirada em uma única alíquota: 0-20 cm. Mas, o valor obtido havia sido extremamente superior ao PEL (1580 µg/g). Somando-se os valores obtidos nas duas alíquotas na campanha de investigação detalhada, o valor total obtido é bem inferior

àquele obtido na campanha de investigação confirmatória, indicando que pode estar havendo um aporte de contaminantes para a jusante do córrego.

Com relação aos outros metais analisados nas amostras, não houve alteração na qualidade dos sedimentos.

5.3.3. Águas subterrâneas

5.3.3.1. Resultados

Na Tabela 13 e Figura 16 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 13 - Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada

Pontos	Teor de chumbo (mg/l)	Descrição da localização
15	< 0,002	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 370 metros (poço de abastecimento)
17	< 0,002	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 750 metros (poço de abastecimento)
47	< 0,002	Direção sudoeste da indústria, cerca de 500 metros (poço de abastecimento)
48	0,010	Direção sudoeste da indústria, cerca de 500 metros (nascente)
50	0,010	Direção oeste da indústria, cerca de 375 metros (nascente)
55	0,009	Direção noroeste da indústria, cerca de 500 metros (poço de abastecimento)
62	< 0,002	Direção norte da indústria, cerca de 200 metros (poço de abastecimento)

Valor de Intervenção = Padrão de Potabilidade = 0,010 mg/l. Fonte: Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde.

5.3.3.2. Análise dos resultados

Todas as amostras analisadas apresentaram teores de chumbo iguais ou inferiores ao valor estabelecido para o parâmetro chumbo como padrão de potabilidade. As amostras coletadas nos pontos 48 e 50 apresentaram teores de chumbo iguais ao padrão de potabilidade (0,010 mg/l) para o parâmetro. A amostra 50 corresponde ao ponto 15 da campanha de investigação confirmatória, na qual se apresentou em desconformidade (0,070 mg/l). Estas amostras foram coletadas em nascentes localizadas em área em frente à indústria, do outro lado da rodovia, em uma das direções prováveis do fluxo de águas subterrâneas, considerando-se a localização dos corpos d'água superficiais. Por se tratarem de nascentes, partículas de solo poderão causar interferência nos resultados, desta forma a área deverá ser melhor estudada, até mesmo porque comparando-se os resultados obtidos no mesmo ponto nas duas campanhas, o teor de chumbo foi reduzido de 0,070 mg/l para 0,010 mg/l. Cabe ressaltar que os resultados da fase 2 da campanha de investigação detalhada, a qual contemplou a instalação de poços de monitoramento e coleta de amostras de água subterrânea, subsidiarão as conclusões referentes a estes resultados.

A amostra coletada no ponto 55 apresentou teor de chumbo inferior ao padrão de potabilidade, porém o valor obtido foi próximo a este (0,009 mg/l). Ressalta-se que este ponto também está na direção provável do fluxo de águas subterrâneas, sugerindo que uma possível pluma de contaminação já tenha atingido este ponto.

Com relação aos outros metais analisados nas amostras, a amostra coletada no ponto 50 apresentou teor de antimônio (0,040 mg/l) superior ao padrão de potabilidade estabelecido para o elemento (0,005 mg/l) e teor de manganês (0,110 mg/l) superior ao padrão de potabilidade estabelecido para o parâmetro (0,100 mg/l). As amostras 47 e 48 apresentaram desconformidade para o alumínio, sendo que a amostra 48 apresentou desconformidade também para o parâmetro manganês.

A desconformidade obtida na amostra 50 no parâmetro antimônio indica que o chumbo pode estar atuando como elemento de transporte para o antimônio. As desconformidades obtidas nos pontos 48 e 50 para o parâmetro manganês e no ponto 48 para o alumínio podem ser devido a este elemento estar presente em quantidades elevadas no solo, já que se tratam de nascentes. Deve-se ressaltar que os parâmetros

alumínio e manganês estão em desconformidade em diversos pontos monitorados no período de 2001 à 2003, de acordo com o Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 - 2003 - São Paulo, CETESB, 2004. Cabe lembrar que estes parâmetros também estão em desconformidade nas águas superficiais, podendo ter as mesmas origem.

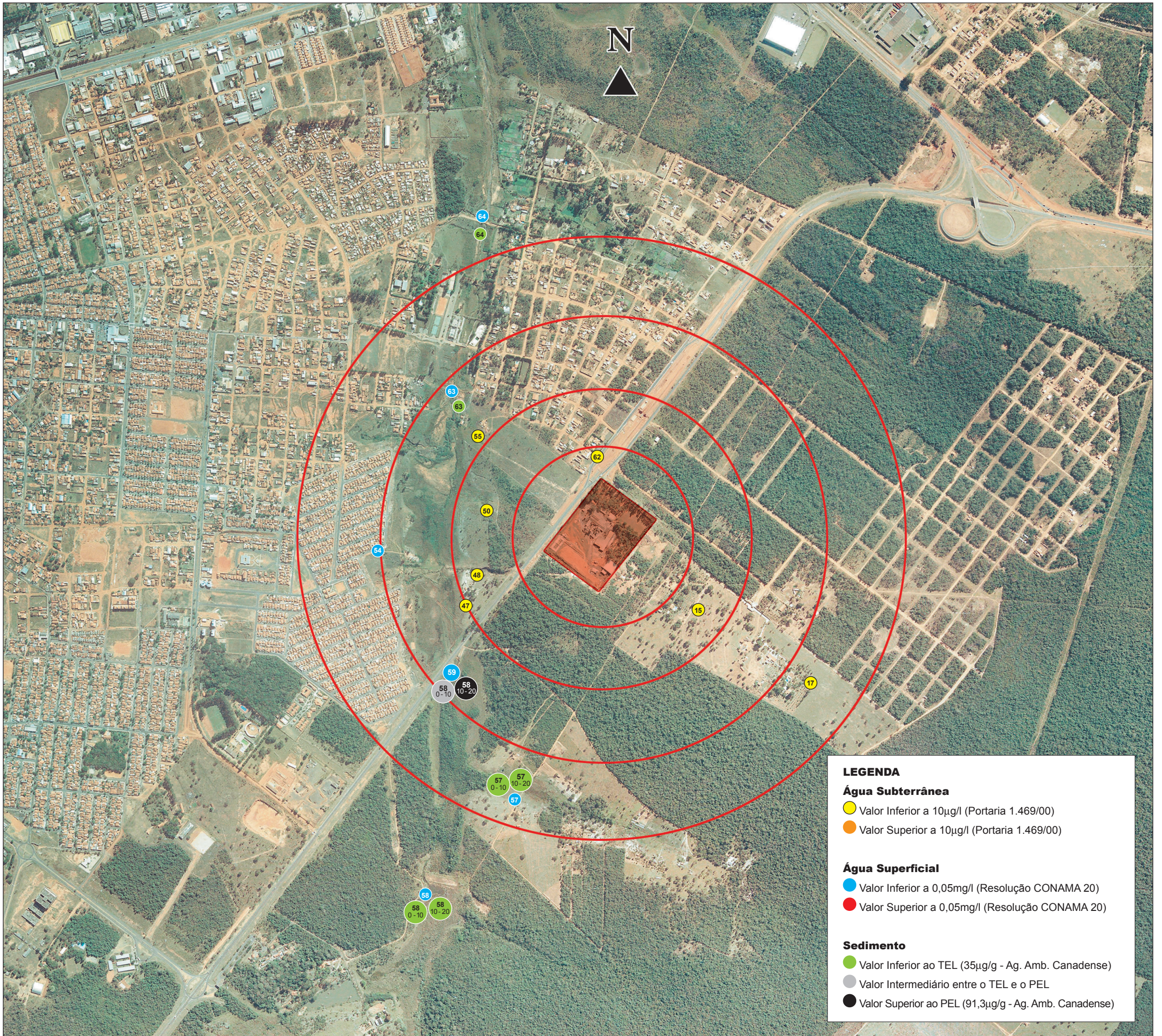


Figura 16 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de sedimento, água superficial e subterrânea na campanha de Investigação Detalhada (Fase I). Fonte: CETESB/2004.

5.3.4. Vegetação

5.3.4.1. Resultados

Na Tabela 14 e Figura 17 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de vegetação coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada realizada em torno da indústria recicladora de chumbo. Na seqüência os resultados serão analisados. A nomenclatura dos pontos seguiu àquela adotada na referida campanha pela CETESB.

Tabela 14 - Resultados das análises das amostras de vegetação coletadas na primeira fase da campanha de investigação detalhada

Pontos	Espécie (FICHAS DE CAMPO, 2003)	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição da localização
1	Mandioca	92,0	Direção leste da indústria, cerca de 250 metros
2	Pastagem	31,6	Direção sudeste da indústria, cerca de 300 metros
3	Pastagem	4,30	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 700 metros
4	Pastagem	12,40	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 900 metros
5	Capim	271	Direção leste/sudeste da indústria, cerca de 250 metros
6	Gramínea	228	Direção sul da indústria, cerca de 200 metros
7	Gramínea	117	Direção sudoeste da indústria, cerca de 200 metros
8	Gramínea	204	Direção leste da indústria, cerca de 200 metros
9	Gramínea	70,0	Direção nordeste da indústria, cerca de 150 metros
10	Gramínea	13,2	Direção leste da indústria, cerca de 450 metros
11	Gramínea	17,7	Direção leste da indústria, cerca de 700 metros

Pontos	Espécie (FICHAS DE CAMPO, 2003)	Teor de chumbo (µg/g)	Descrição da localização
12	Gramínea	6,60	Direção leste da indústria, cerca de 1200 metros
13	Gramínea	8,00	Direção nordeste da indústria, cerca de 950 metros
14	Angico (nativa)	8,75	Direção nordeste da indústria, cerca de 700 metros
15	Angico (nativa)	20,1	Direção nordeste da indústria, cerca de 450 metros
16	Angico (nativa)	2,20	Direção sudoeste da indústria, cerca de 500 metros
17	Angico (nativa)	3,55	Direção sul da indústria, cerca de 500 metros
18	Óleo de copaíba (nativa)	2,10	Direção sul da indústria, cerca de 900 metros
19	Angico (nativa)	2,30	Direção sul da indústria, cerca de 750 metros
20	Pastagem	3,00	Direção sul da indústria, cerca de 1000 metros
21	Gramínea	2,35	Direção sudoeste da indústria, cerca de 1000 metros
22	Angico (nativa)	12,0	Direção sudoeste da indústria, cerca de 750 metros
23	Cinzeiro (nativa)	53,8	Direção oeste da indústria, cerca de 250 metros
24	Cinzeiro (nativa)	42,2	Direção oeste/noroeste da indústria, cerca de 200 metros
25	Pastagem	18,9	Direção oeste da indústria, cerca de 400 metros
26	Pastagem	59,5	Direção oeste da indústria, cerca de 350 metros
27	Mandioca	2,55	Direção oeste da indústria, cerca de 850 metros

Pontos	Espécie (FICHAS DE CAMPO, 2003)	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição da localização
28	Gramínea	16,6	Direção norte da indústria, cerca de 450 metros
29	Fícus	7,85	Direção sudoeste da indústria, cerca de 850 metros
30	Palmeira	3,10	Direção oeste da indústria, cerca de 1200 metros
31	Árvore (ornamental)	3,90	Direção oeste da indústria, cerca de 1000 metros
32	Árvore (ornamental)	4,10	Direção oeste da indústria, cerca de 750 metros
33	Árvore (ornamental)	7,80	Direção noroeste da indústria, cerca de 750 metros
34	Mandioca	16,1	Direção noroeste da indústria, cerca de 850 metros
35	Gramínea	19,6	Direção noroeste da indústria, cerca de 1000 metros
36	Gramínea	7,10	Direção noroeste da indústria, cerca de 750 metros
37	Erva cidreira	8,60	Direção norte/noroeste da indústria, cerca de 625 metros
38	Almeirão	11,4	Direção norte da indústria, cerca de 800 metros
39	Hortelã	40,1	Direção norte da indústria, cerca de 650 metros
40	Hortelã	17,0	Direção norte/noroeste da indústria, cerca de 450 metros
41	Couve	8,20	Direção norte da indústria, cerca de 250 metros
42	Erva cidreira	5,40	Direção norte/nordeste da indústria, cerca de 650 metros
43	Couve	6,30	Direção norte/nordeste da indústria, cerca de 1200 metros

Pontos	Espécie (FICHAS DE CAMPO, 2003)	Teor de chumbo ($\mu\text{g/g}$)	Descrição da localização
44	Alface	4,35	Direção norte/nordeste da indústria, cerca de 850 metros
45	Mandioca	5,90	Direção norte da indústria, cerca de 875 metros
46	Mandioca	34,6	Direção noroeste da indústria, cerca de 500 metros
47	Pimenta de macaco (nativa)	4,70	Direção leste da indústria, cerca de 950 metros

Padrão adotado para o teor máximo de chumbo permitido em vegetação: 10,0 $\mu\text{g/g}$. Fonte: Organização Mundial de Saúde; EPA (1983).

5.3.4.2. Análise dos resultados

Os valores obtidos em vegetação estão, no geral, coerentes com os valores obtidos no solo na camada de 0 –2 cm. É o que se observa no entorno imediato da indústria, em uma faixa circundante de 500 metros, onde foi amostrada vegetação nativa, pastagem e vegetação de consumo.

Nesta área somente os pontos 16, 17 e 41, coletados nesta faixa, apresentaram teores em conformidade com o padrão adotado. Os valores obtidos nas análises das amostras coletadas nos pontos 16 e 17 justificam-se tendo em vista a localização destes pontos, que estão em mata fechada. Já o ponto 41 localiza-se no bairro residencial que passou por ação emergencial de raspagem de solo superficial de ruas e quintais, mas não houve intervenção diretamente na vegetação. Mas, como a população foi informada que deveria evitar o consumo de alimentos cultivados no local, visto que poderiam estar contaminados, a própria população pode ter substituído as hortas existentes.

É importante observar que o ponto 6, o qual está localizado em área imediatamente vizinha à indústria, ao sul, apresentou desconformidade, enquanto que a amostra 3 de solo, coletada em ponto equivalente, não apresentou desconformidade, dando indícios de que devido ao fato de a vegetação ser bem adensada, a mesma absorveu os contaminantes.

A distâncias superiores a 500 metros, os pontos 4, 11, 22, 34, 35, 38, 39 e 40 apresentaram desconformidade, sendo que as amostras de solo equivalentes (16, 8, 23, 43, 42, 37, 40 e 41), analisadas nestes locais na profundidade de 0-2 cm, apresentaram teores de chumbo inferiores ao valor de alerta estabelecido, com exceção da amostra 42 (140 µg/g). As amostras 16, 8, 23, 37, e 41 apresentaram teor de chumbo inferior ao limite de detecção utilizado (8,00 µg/g). Os pontos de amostragem de vegetação e solo foram os mesmos, apresentando pequenas variações de acordo com as condições de campo.

Existem duas possíveis formas de contaminação da vegetação: absorção pelo solo ou por deposição aérea. Deve-se considerar que apenas as amostras 34, 35, 38, 39 e 40 estão na direção dos principais ventos predominantes, devendo, então, ser discutida e melhor investigada a possibilidade das amostras 4, 11 e 22 terem absorvido o chumbo do solo, apesar de nas amostras equivalentes de solo os teores de chumbo terem sido inferiores ao valor de alerta estabelecido. Tal fato deverá ser melhor estudado nas campanhas de amostragem subseqüentes.

A amostra 11 corresponde à vegetação nativa, extrato arbóreo alto. Este ponto localiza-se a cerca de 750 metros à leste da indústria e deverá ser estudado com maiores detalhes, pois sugere que toda a vegetação nativa situada neste entorno possa estar com elevados teores de chumbo. Este ponto caracteriza a absorção do contaminante por deposição aérea em suas folhas, sugerindo a ação de um vento não predominante no local.

O ponto 22 localiza-se na linha de drenagem de efluentes da indústria para o córrego classe 2, no qual foi coletada amostra de planta nativa logo após o córrego classe 2. Este ponto está localizado a cerca de 750 metros da indústria à sudoeste e indica que a presença de cortinas vegetais, naturais no caso, minimizariam a dispersão do poluente pela ação do vento, como foi verificado em pontos mais próximos à indústria, nesta mesma direção. O que pode indicar que extratos arbóreos mais altos estejam com teores mais elevados de chumbo.

Os pontos 34 e 35 localizam-se próximos ao ponto 42 de solo (Figura 13), o qual apresentou teor de chumbo superior ao valor de alerta. Estes pontos estão localizados a cerca de 1000 metros à noroeste da indústria, na direção do principal

vento predominante e em uma altitude mais elevada que os demais pontos, visto que situa-se após o vale formado pelo córrego classe 2; Os pontos 38 e 39 estão localizados no bairro residencial à norte da indústria e em uma das direções preferenciais dos ventos.

Mas, considerando os resultados obtidos na investigação confirmatória realizada pela CETESB em maio/junho de 2002, e que a CETESB ainda não analisou as contraprovas coletadas de vegetação, não deve ser descartada a hipótese das análises não terem sido realizadas conforme os procedimentos recomendados para vegetação, os quais contemplaria a lavagem das mesmas.

A consideração acima surge em decorrência dos resultados obtidos pois, apesar de não terem sido amostradas as mesmas espécies, nos mesmos locais, os resultados obtidos foram extremamente superiores àqueles obtidos na primeira campanha, devendo-se considerar ainda que a fonte está com suas atividades paralisadas.

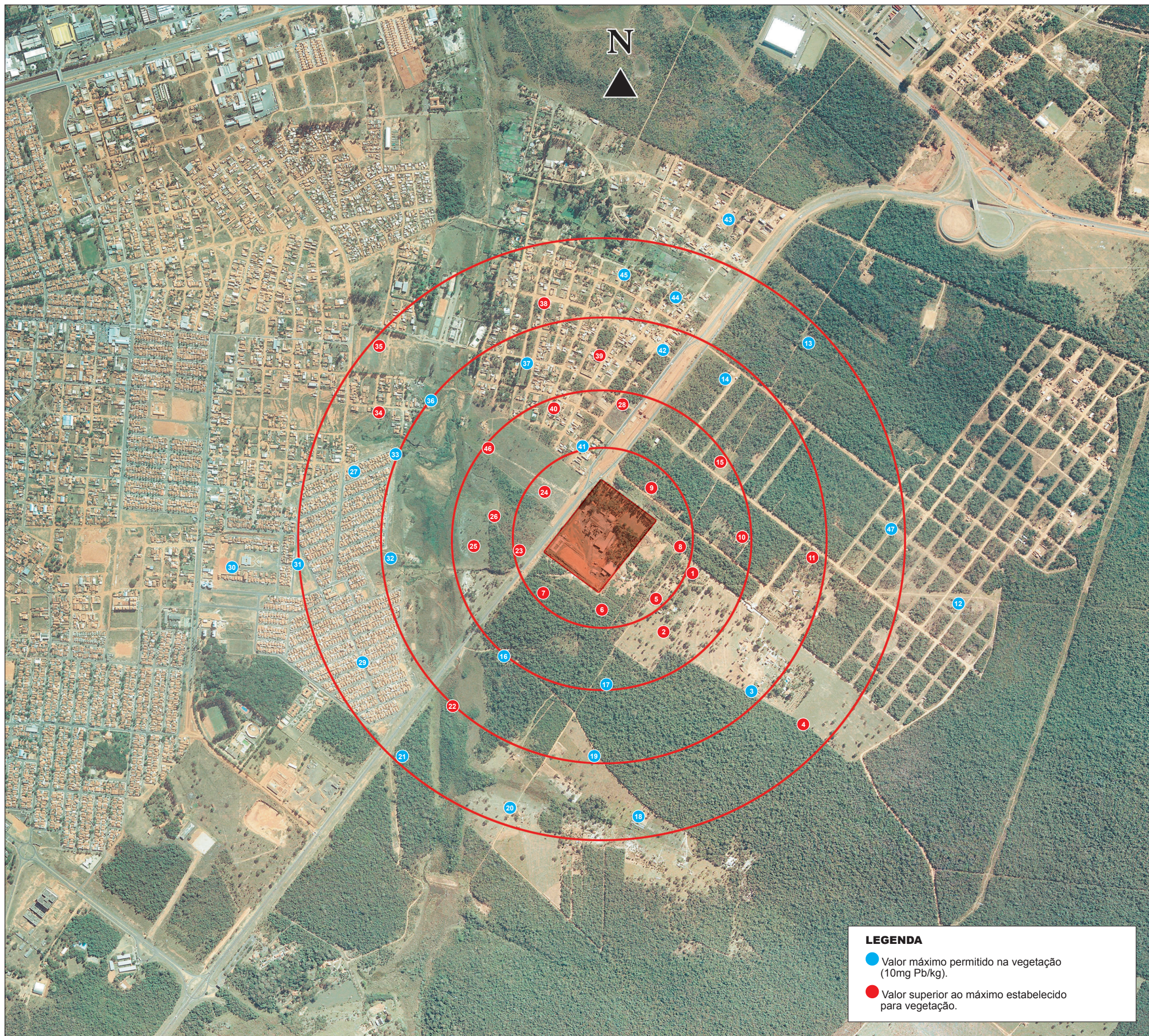


Figura 17 - Identificação e classificação dos pontos de amostragem de vegetação na campanha de Investigação Detalhada (Fase I). Fonte: CETESB/2004.

6. CONCLUSÕES

Com base no estudo apresentado foi possível constatar a importância do desenvolvimento de campanhas de amostragem periódicas como fator orientador na tomada de decisões. Apesar dos altos custos que envolvem tais campanhas de amostragens, esse monitoramento periódico permite avaliar o acúmulo das poeiras fugitivas e os passivos que acabam sendo constituídos mesmo com as altas eficiências dos equipamentos de controle. A adoção de uma metodologia de amostragem coerente com os riscos da atividade industrial reduz os investimentos necessários para a sua realização. Estes custos são justificáveis a partir do momento que fornecem dados seguros para a tomada de decisões em ações preventivas, amenizando os custos provenientes de ações de intervenção por parte dos órgãos fiscalizadores e o custo de remediação por parte da indústria responsável.

Na avaliação dos dados obtidos durante as 03 (três) campanhas de amostragens, realizadas após a interdição da indústria em estudo, foi possível observar alguns indicativos que favoreceram a organização dos elementos necessários para o desenvolvimento de metodologias para a realização de campanhas de monitoramento ambiental em torno de indústrias de processamento de chumbo:

1. A propagação da contaminação na área externa da indústria sofreu bastante influência do vento, sendo este um dos principais vetores no transporte de poluentes. Este fator mostra a importância da realização de estudos de dispersão atmosférica para as fontes industriais, a fim de prever o impacto de fontes de poluição no meio estudado.
2. O chumbo, na sua maior parte, tende a ficar retido nos dois primeiros centímetros do solo.

3. A estação de tratamento de efluentes líquidos sempre merece uma atenção especial, visto que qualquer desconformidade pode colaborar para a dispersão de contaminantes no meio ambiente.
4. É fundamental a adoção de uma metodologia de amostragem com critérios definidos, baseada em resultados de amostragens anteriores, quando houver, e considerando-se as direções preferenciais dos ventos.
5. A locação dos pontos de coleta das amostras por meio de uma distribuição sistemática em malha circular regular em torno da indústria, é interessante para a obtenção de um primeiro diagnóstico da contaminação de uma área, visto que os pontos estarão distribuídos de forma regular.
6. A determinação da profundidade também é fator determinante nos resultados obtidos, pois a escolha inadequada da profundidade pode influir na tomada de decisão, uma vez que pode gerar uma informação inadequada a respeito da real situação de contaminação do local, invalidando a campanha de avaliação e desperdiçando os investimentos para sua execução.
7. Outro ponto de grande relevância é a adoção do valor de intervenção adequado para análise dos resultados obtidos, visto que novas ações serão tomadas a partir da verificação desta desconformidade, já que os valores de intervenção foram estabelecidos com base em avaliação de risco.
8. Com o aumento da distância da indústria até o ponto amostrado, verifica-se uma redução na concentração do contaminante no solo e na vegetação.
9. É fundamental a determinação dos parâmetros a serem avaliados em cada compartimento ambiental, de forma que estes sejam coerentes

com o processo industrial da empresa avaliada. Além disso, deve-se considerar que diversos elementos já estão presentes em quantidades, às vezes elevadas, nas águas subterrâneas, superficiais e no solo, conforme se observa nos relatórios da CETESB de águas subterrâneas, superficiais e valores orientadores.

10. O antimônio deverá ser melhor investigado, visto que o comportamento apresentado nas amostras de solo avaliadas, sugere que este elemento possivelmente é mais móvel do que o chumbo no solo.
11. É fundamental a utilização de procedimentos padronizados de coleta de amostras e análise laboratorial, visto que a utilização de procedimentos que não estejam em total conformidade com aqueles estabelecidos em Normas, Regulamentações e mesmo em literaturas, poderão causar distorção nos resultados obtidos.
12. Com base nos resultados obtidos nas análises das amostras de vegetação, é possível que a vegetação seja mais sensível à absorção de contaminantes.
13. Considerando os resultados obtidos nas análises de amostra de mandioca e de vegetação nativa de estrato arbóreo alto, pode-se concluir que a vegetação absorve o chumbo tanto por meio de suas raízes como por meio de suas folhas.
14. Nas áreas protegidas por vegetação, os resultados sugerem que a contaminação do solo foi evitada ou minimizada. Desta forma, a existência de cortinas vegetais nas indústrias tem potencial para minimizar a dispersão de poluentes.
15. A raspagem de solo superficial foi uma ação emergencial que acarretou em bons resultados, visto que a taxa de chumbo no solo foi reduzida e com isso, houve redução na taxa de chumbo no sangue das crianças

monitoradas ou pelo menos cessou o acréscimo que estava ocorrendo mesmo com a fonte paralisada.

7. RECOMENDAÇÕES

A pesquisa efetuada apontou alguns indicativos a serem considerados no desenvolvimento das campanhas de monitoramento. No entanto, algumas das informações levantadas deverão ser melhor estudadas a fim de oferecer dados mais concretos para o aperfeiçoamento das metodologias de monitoramento ambiental.

É premente o desenvolvimento sustentável, muito tem se feito para o desenvolvimento do setor ambiental, no entanto ainda há muito o que evoluir, pois ainda existem muitas informações a serem desvendadas, conceitos a serem consolidados, processos a serem viabilizados e muitos investimentos a serem feitos neste setor.

Assim, para as indústrias que processam chumbo, recomenda-se a realização dos seguintes monitoramentos ambientais ou medidas para evitar a propagação da contaminação:

- estudos de dispersão atmosférica (pluma gaussiana, por exemplo) antes da instalação destas indústrias, a fim de prever os possíveis impactos gerados pelos poluentes emitidos por estas fontes e, se for o caso, impedir a instalação da indústria no local proposto;
- adoção de uma área de sacrifício em torno da indústria, a fim de que as emissões residuais não venham a constituir passivo ambiental fora da área de propriedade da indústria, podendo colocar em risco algum possível receptor;
- monitoramento do teor de chumbo na poeira sedimentável e nas partículas totais em suspensão na atmosfera;
- monitoramento do solo para verificar a formação de passivo ambiental e adotar ações de remediação do local, caso se mostrem necessárias;

- investigação das possíveis origens do contaminante, para que se adote medidas de prevenção à poluição – produção mais limpa, quando se verificar alteração na qualidade do solo;
- monitoramento das águas subterrâneas e superficiais (verificação dos padrões de lançamento do efluente industrial descartado após tratamento, e dos padrões de qualidade do corpo receptor);
- uso de cortinas vegetais em torno da indústria.

É fundamental a realização de ações de remediação de curto prazo em áreas com teores elevados de chumbo, a fim de que estas áreas não sejam fontes de contaminação para outras e não venham a contaminar a população.

Com base nos valores obtidos na campanha de Investigação Detalhada (Fase I), deverão ser priorizadas ações no sentido de minimizar o grau de contaminação confirmado em áreas com teores de chumbo superiores ao valor de intervenção adotado. Deverá ser novamente investigada a área constituída pelos pontos que apresentaram teores superiores ao valor de alerta estabelecido.

Para a avaliação de águas subterrâneas é importante, em algumas vezes, a análise também da amostra filtrada, a qual determina o teor dissolvido do parâmetro avaliado na amostra. A filtração elimina as partículas de solo que podem interferir na análise laboratorial. Recomenda-se, também, a utilização de limites de detecção mínimos para a análise das amostras, considerando os valores estabelecidos para os padrões de potabilidade. Usualmente algumas empresas têm feito as análises utilizando como limite de detecção o próprio padrão de potabilidade, podendo ocorrer, então, de o resultado obtido ser inferior ao padrão de potabilidade, porém próximo a este, sugerindo-se que a área continue a ser monitorada.

Já com relação às águas superficiais, recomenda-se a análise conjunta de amostras de água e de sedimento, uma vez que os contaminantes quando presentes nas águas superficiais tendem a se depositar, ficando retidos nos sedimentos dos corpos d'água.

Sugere-se como continuidade de estudos:

- O ciclo do chumbo no vegetal;
- Absorção pelo solo do chumbo contido na matéria orgânica de vegetais em decomposição;
- Fatores que favorecem a lixiviação do chumbo;
- Lixiviação do antimônio;
- Investigação da presença do antimônio em pontos de desconformidade do chumbo.

8. BIBLIOGRAFIA

ABREU, C. A. de; ABREU, M. F. de; BRAGANTIA, J. C. de A.. *Distribuição de chumbo no perfil de solo avaliada pelas soluções de DTPA e MEHLICH-3*, n.1. Campinas, 1998.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological Profile for lead*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1999.

ALLOWAY, B. J.. *Heavy metals in soils*. (compiled by), 1990.

ARAÚJO, U. C. et al. *Avaliação da exposição ocupacional ao chumbo: proposta de uma estratégia de monitoramento para prevenção dos efeitos clínicos e subclínicos*. Cadernos de saúde pública. Rio de Janeiro, v.15, n.1, 1999.

CALDEIRA, C. et al. *Limites de aplicabilidade da determinação do ácido delta-aminolevulínico urinário como teste screening na avaliação da intoxicação profissional pelo chumbo*. Cadernos de saúde pública. Rio de Janeiro, v.16, n.1, 2000.

CETESB. *Contaminação ambiental por chumbo em torno da indústria FAÈ S/A – Indústria e Comércio de Metais, Caçapava – SP*. 20p. 240 – 253 (Relatório técnico). São Paulo, 1993.

_____. *Fusão de chumbo secundário. Nota técnica sobre tecnologia de controle*. – NT – 31. 1995.

_____. *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB*, 1999.

_____. *Informação Técnica nº 164/CPn-B*, 2001a.

_____. *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*, 2001b.

_____. *Informação Técnica nº 18/ECC/EQQ/EQS/ERQ/02*, 2002.

_____. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*, 2003a.

_____. *Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo*, 2001/2003b.

CORONA, J. *Intoxicação por metais pesados – o chumbo*. Rio de Janeiro, 2001.

EGREJA FILHO, F. B. *Avaliação da ocorrência e distribuição química de metais pesados na compostagem do lixo domiciliar urbano*. Tese. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993.

Environmental Protection Agency – *Compilation AP42 EPA*. Disponível em: < <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/bgdocs/b12s15.pdf> > Acesso em 18 set. 2004.

FELL, R. et al. (Ed.). *Geotechnical management of waste and contamination*, Estados Unidos: A. A. Balkema, 1993.

FUNDACENTRO. *Reciclagem de bateria – Acordo esquento polêmica do chumbo*. Revista, V. 2 (5) , 1998.

I SEMINÁRIO SOBRE POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS. Brasília, 1979.

INSTITUTO NACIONAL DO SEGURO SOCIAL. *Norma Técnica sobre Saturnismo*, 2000.

JIN, A.; TESCHKE, K.; COPES, R.. *The relationship of lead in soil to lead in blood and implications for standard setting*. The science of the total environment 208, 23 – 40, 1997.

JÚNIOR, R. F. de M.. *Geoquímica da contaminação industrial do solo e do subsolo por metais pesados na região de Suzano-SP*. São Paulo, 1998

KUNO, R.; HUMAYTÁ, M. H. R.; OLIVEIRA FILHA, M. T. de.. *Níveis de chumbo no sangue de um grupo populacional e animais de propriedades vizinhas à Indústria Tonolli S/A – em Jacareí (SP)*. Fevereiro, 1995.

LARINI, L.. *Toxicologia*. 1ª ed. Bras. São Paulo, 1997.

LIMA F., E. C. et al. *Reajustando o limite de tolerância biológica aplicado à chumbo no sangue no Brasil*. Cadernos de saúde pública. Vol. 12. N. 4. Rio de Janeiro. 1996.

MAZUR, N. *Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos*. Tese. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Norma Regulamentadora NR-15*.

_____. *Norma Regulamentadora NR-7*.

PAOLIELLO, M. M. B; Chasin. *Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos*. Cadernos de referência ambiental V.3. A.A M. 144p. , Salvador, 2001.

_____. *Valores de referência para chumbo no sangue em população urbana. Revista de saúde pública.* São Paulo, v.41, n.2, 1997.

PATTERSON, J. W.; PASSINO, R. (Ed.). *Metals speciation, separation, and recovery*, v. 2. Estados Unidos: Lewis publishers, 1989.

PIVETTA, F. R.; MOREIRA, J. C.. *Avaliação da exposição ocupacional ao chumbo: proposta de uma estratégia de monitoramento para prevenção dos efeitos clínicos e subclínicos.* Caderno de saúde Pública. v. 15 n. 1 . Rio de Janeiro jan/mar 1999.

QUITÉRIO, S. L.; SILVA, C. R. S. da; VAITSMAN, D. S.; ARAÚJO, U. C.; MATTOS, R. de C da C.. *Uso da poeira e do ar como indicadores de contaminação ambiental em áreas circunvizinhas a uma fonte de emissão estacionária de chumbo.* Caderno de Saúde Pública, v. 17, n. 3, Rio de Janeiro. mai/jun, 2001.

RANGEL, R. N. *Práticas de físico-química*, 2. Ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1988.

ROCHA, A. J. D.. *Perfil analítico do chumbo.* Ministério das minas e energia. Boletim nº 8. Departamento nacional de produção mineral. Rio de Janeiro, 1973.

RUSSELL, J. B.. *Química geral*, v. 2, 2. Ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

SEILLER, H. G.; SIGEL, H. (Ed.). *Handbook on toxicity of inorganic compounds*, 1987.

SILVA, B. C. E.. *Balanço Mineral Brasileiro 2001.* DNPM. Bahia, 2001

SILVA, C. L. et al. *Tratamento térmico de resíduos sólidos.* Apostila da disciplina Incineração de Resíduos, 1998.

SILVA, S. L.; ARBILLA GRACIELA, C. R. S. da; et al. *Controle das emissões de chumbo particulado no entorno de uma reformadora de baterias da cidade do Rio de Janeiro usando ar como indicador.* Cad. Saúde Pública, mar./abr, vol.19, no.2, p.475-480, 2003.

SIMONETTI, C. H. et al. *Poluição do ar: o impacto da fabricação e reciclagem de baterias em Bauru.* Monografia. Bauru: USP, 2000.