WANDA MARIA RISSO GÜNTHER

**CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS
INDUSTRIAIS CONTENDO METAIS PESADOS
ESTUDO DE CASO**

**Tese apresentada à Faculdade de Saúde
Pública da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Doutor em
Saúde Pública**

Orientador: Prof. Titular Carlos Celso do Amaral e Silva

São Paulo

1998

DEDICAÇÃO

Ao companheiro Marco Antonio Günther por sua dedicação e seu apoio incondicional, fundamentais para a realização deste trabalho.

À Fernanda Günther, que nasceu durante o período mais acelerado da tese e que teve momentos importantes de convivência roubados para a finalização do estudo.

Ao Dr. Walter Nazário, pela ajuda e paciência na coleta das amostras de animais, demonstrando toda sua dedicação ao trabalho e profissionalismo, mesmo em seus últimos dias de vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Carlos Celso do Amaral e Silva pelas discussões, apoio e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Itobi Pereira de Souza, pela oportunidade do trabalho conjunto no laudo pericial e pelo apoio no levantamento de uma série de informações indispensáveis à concretização do estudo.

Aos técnicos da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas da Universidade de São Paulo, Instituto Biológico do Estado de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública e Instituto de Química da Universidade de São Paulo pelo assessoramento na execução de coleta e análise de amostras.

À população do bairro Parateí pelas informações prestadas e pela firme esperança de que tudo tende a terminar bem.

Ao Sr. Edmilson Sousa Santos pelo apoio na edição do trabalho.

ÍNDICE

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE FOTOS.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE SIGLAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. As Substâncias Químicas e Metais Pesados no Período Pós-Industrial..	01
1.2. Áreas Contaminadas: Efeitos ao Ambiente e à Saúde Pública	03
1.3. Áreas Contaminadas nos Países Desenvolvidos	05
1.4. Áreas Contaminadas nos Países em Desenvolvimento.....	08
1.5. Resíduos Industriais e Áreas Contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo	09
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Metais Pesados como Contaminantes Ambientais.....	16
2.1.1 Ocorrência de Metais Pesados.....	18
2.1.2 Comportamento dos Metais Pesados no Ambiente.....	19
2.1.3 Metais Pesados como Problema de Saúde Pública.....	22
2.2 Características dos Metais Pesados Estudados e Efeitos ao Ambiente e à Saúde Pública	25
2.2.1 Cádmio	26
2.2.2 Cobre	33
2.2.3 Cromo	37
2.2.4 Níquel	41
2.2.5 Zinco	46
2.3 A Indústria Galvanotécnica como Fonte de Emissão de Metais Pesados ao Ambiente	49
2.4. Procedimentos Utilizados para Controle Ambiental e para Comunicação de Riscos à Saúde.....	58

2.4.1. Procedimentos de Controle de Fontes Geradoras de Poluição por parte de Órgão Estadual de Meio Ambiente.....	58
2.4.2 Procedimentos para Comunicação de Risco à Saúde da Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR.....	59
3. OBJETIVOS.....	62
3.1 Objetivo Geral.....	62
3.2 Objetivos Específicos.....	62
4.METODOLOGIA.....	63
4.1 Referenciais Metodológicos.....	63
4.2 Caracterização dos Procedimentos da Investigação.....	67
4.2.1 Coleta de Informações Preliminares	67
4.2.2 Coleta de Amostras, Métodos Analíticos Empregados e Interpretação dos Resultados Obtidos nas Análises das Amostras Coletadas	70
4.3 Procedimentos Utilizados para Avaliar os Resultados do Estudo	74
4.3.1 Identificação das Vias de Exposição	74
4.3.2 Caracterização da Contaminação Ambiental e da Exposição da População Humana e Animal	77
5. O ESTUDO DE CASO	78
5.1 Apresentação do Problema	78
5.2 Caracterização da Área da Pesquisa e da População em Estudo.....	87
5.2.1 Atividade Industrial Responsável pela Contaminação.....	92
5.2.2 Uso e Ocupação do Solo no Local.....	96
5.2.3 Identificação das Populações Expostas.....	101
5.3 Análise da Contaminação Provocada pelos Metais Pesados: Resultados Obtidos e Discussão.....	104
5.3.1 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados nos Efluentes Líquidos Industriais.....	107
5.3.2 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados nas Águas Superficiais.....	110

5.3.3 Discussão dos Resultado das Concentrações de Metais Pesados no Lodo e na Vegetação.....	112
5.3.4 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados nas Águas Subterrâneas.....	114
5.3.5 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados no Solo.....	118
5.3.6 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados em Animais	120
5.3.7 Discussão dos Resultados Obtidos pelo Método Geofísico.....	124
5.4 Avaliação Geral da Contaminação Ambiental.....	127
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	129
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
ANEXOS	
Anexo 1 - Ações do Órgão Estadual de Meio Ambiente e da Pesquisadora Efetuadas sobre a Indústria e a Área em Estudo.....	A1
Anexo 2 - Resultados das Análises Realizadas pela CETESB em Poços Freáticos Residenciais da Área em estudo.....	A6
Anexo 3 - Resultados das Análises Referentes à Campanha de Amostragem Efetuada pela Indústria nas Águas dos Poços Freáticos Residenciais.....	A7

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1 - Destino dos resíduos industriais perigosos das indústrias inventariadas na Região Metropoli-tana de São Paulo.....	13
Figura 2 - Tipo de disposição dos resíduos industriais perigosos gerados pelas indústrias inventariadas da Região Metropolitana de São Paulo.....	13
Figura 3 - Disposição no solo dos resíduos industriais perigosos produzidos pelas indústrias inventariadas da Região Metropolitana de São Paulo segundo sub-grupo de atividade.....	14
Figura 4 - Esquema de sistema convencional de galvanoplastia.....	51
Figura 5 - Modelo teórico desenvolvido para identificar as vias de exposição aos contaminantes presentes na área em estudo.....	76
Figura 6 - Localização da área em estudo.....	79
Figura 7 - Foto aérea da área em estudo.....	89
Figura 8 - Delimitação da área em estudo.....	90
Figura 9 - Uso e ocupação da área em estudo.....	97
Figura 10 - Detalhamento da área em estudo.....	100
Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem dos diferentes meios amostrados.....	106
Figura 12 - Superfície de isocondutividade do solo em sub-superfície (1 metro).....	125
Figura 13 - Superfície de isocondutividade do solo em sub-superfície (10 metros).....	126
Figura 14 - Expansão de núcleos residenciais na área em estudo.....	133

LISTA DE FOTOS

	PÁGINA
Foto 1 - Vista da indústria Zincomatic - Tratamento de Metais Ltda.....	78
Foto 2 - Vista parcial dos fundos da indústria galvanotécnica e da área aterrada.....	85
Foto 3 - Vista dos fundos da indústria galvanotécnica e sua localização em ponto elevado da área em estudo.....	91
Foto 4 - Vista parcial da linha industrial do processo de galvanoplastia.....	92
Foto 5 - Vista das condições do ambiente interno da indústria galvanotécnica	93
Foto 6 - Vista parcial do sistema de tratamento de efluentes líquidos da indústria galvanotécnica.....	94
Foto 7 - Vista dos leitos de secagem de lodo resultante do sistema de tratamento de efluentes industriais.....	95
Foto 8 - Vista das condições de armazenamento dos resíduos sólidos industriais no pátio da indústria.....	98
Foto 9 - Vista do ponto de lançamento de efluentes líquidos industriais no Rio Parateí.....	107

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
Tabela 1 - Distribuição de empresas segundo os códigos de atividades do IBGE.....	11
Tabela 2 - Usos e matérias primas empregadas nas etapas de limpeza de peças.....	52
Tabela 3 - Metais, usos e matérias primas empregadas no revestimento de peças.....	53
Tabela 4 - Resultados do inquérito domiciliar.....	103
Tabela 5 - Número de amostras coletadas e analisadas segundo o material amostrado.....	105
Tabela 6 - Resultados das análises referentes a efluentes líquidos da indústria segundo a data de amostragem, o ponto amostrado e os metais pesados pesquisados.....	109
Tabela 7 - Resultados das análises referentes às águas do Córrego das Antinhas segundo a posição relativa e os metais pesados pesquisados.....	111
Tabela 8 - Resultados das análises referentes a lodo e vegetação do Córrego das Antinhas segundo a posição relativa, os metais pesados pesquisados e os resultados da região-controle.....	113
Tabela 9 - Resultados das análises referentes à água de poços freáticos segundo o ponto de coleta, o endereço e os metais pesados pesquisados.....	116
Tabela 10 - Resultados das análises referentes a solo segundo o ponto de coleta, a profundidade e os metais pesados pesquisados.....	118
Tabela 11 - Resultados das análises referentes a material biológico de bovinos segundo as características do animal e os metais pesados pesquisados.....	121

LISTA DE SIGLAS

AIIPA - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment

CEPAS - Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas

CERCLA - Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CVS - Centro de Vigilância Sanitária

EPA - Environmental Protection Agency

EUA - Estados Unidos da América

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MPESP - Ministério Público do Estado de São Paulo

NPL - National Priority List

ONGs - Organizações não governamentais

OTAN - Organização do Tratado do Atlântico Norte

RMSP - Região Metropolitana de São Paulo

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SARA - Superfund Amendments and Reauthorization Act

USP - Universidade de São Paulo

LISTA DE ABREVIATURAS

% - Porcentagem

µg - Micrograma

µg/dia - Micrograma por dia

µg/dl - Micrograma por decilitro

µg/l - Micrograma por litro

EDTA - Ácido etileno diamin tetracético

g - Grama

g/Kg - Grama por quilograma

Hg - Mercúrio

Kg - Quilograma

Km - Quilómetro

m - Metro

mg - Miligrama

mg/dia - Miligrama por dia

mg/kg - Miligrama por quilograma

mg/l - Miligrama por litro

mg/m³ - Miligrama por metro cúbico

NE - Nordeste

ng/l - Nanograma por litro

C - Graus Celsius

pH - potencial hidrogeniônico

PVC - Policloreto de vinila

SW - Sudoeste

ton. - toneladas

v - Volt

RESUMO

O presente estudo aborda um caso de contaminação ambiental decorrente da operação de uma indústria de galvanoplastia e suas implicações na saúde da população de sua área de influência. A pesquisa foi desenvolvida através de um estudo de caso, com o objetivo de investigar a liberação de substâncias perigosas para o ambiente, avaliando o comprometimento atual e futuro da área exposta e da população local, visando identificar ações necessárias para analisar, mitigar e prevenir os riscos ao ambiente e à saúde pública.

A metodologia utilizada para avaliar a contaminação ambiental e seus efeitos sobre a saúde baseou-se nos critérios de avaliação de saúde empregados pela Agency for Toxic Substances and Disease Registry-ATSDR, quando da investigação em áreas suspeitas de contaminação. Esta avaliação consiste no levantamento de dados ambientais, na identificação das preocupações da população exposta com o problema e dos efeitos potenciais sobre a saúde, visando a indicação, para o órgão ambiental competente, da necessidade de estudos ou ações de saúde pública mais aprofundados na área.

Para tanto, foram efetuados levantamentos das informações disponíveis sobre a indústria e a caracterização sócio-ambiental da área; investigação das fontes de contaminação e de sua propagação; identificação da população exposta, das principais vias de exposição e dos efeitos potenciais dos contaminantes sobre a saúde.

Os resultados obtidos confirmaram a presença de contaminantes emitidos pela indústria em todos os compartimentos ambientais pesquisados. Inicialmente supunha-se que o caso fosse resultante do lançamento de efluentes líquidos industriais fora dos padrões estabelecidos. Entretanto, a magnitude da contaminação indicou tratar-se de um caso bem mais grave, envolvendo a disposição inadequada de resíduos no solo e a referência à ocorrência de acidente industrial.

Os principais efeitos identificados foram a contaminação das águas subterrâneas por poluentes químicos, a morte de dezenas de animais dos sítios vizinhos, a impossibilidade de utilização da área atingida para plantio ou

criação de animais e os agravos à saúde referidos pela população, principalmente associados à ingestão das águas contaminadas.

A situação encontrada tende a se agravar, devido à propagação da pluma de contaminantes nas águas subterrâneas, à incorporação dos poluentes no solo e sedimentos dos corpos d'água, passíveis de serem liberados para o ambiente e, por outro lado, pelo atual crescimento da ocupação do núcleo residencial, que se estende ao longo da área contaminada.

Com base no estudo realizado, recomenda-se uma investigação detalhada da área, com vistas à proposição e execução de medidas de remediação, tanto para a recuperação da área com o fim de se manter o uso atual da região como para a alteração de seu uso, buscando-se uma nova utilização compatível com a qualidade ambiental que venha a ser alcançada através da intervenção proposta.

Recomenda-se ainda que as autoridades de meio ambiente e saúde pública efetivem ações no sentido de minimizar o risco da população exposta à área contaminada e à propagação da contaminação, monitorando a qualidade da fonte de abastecimento de água potável, fiscalizando o uso indevido de água do lençol freático, estabelecendo critérios para cultivos e criação de animais e propondo medidas para o isolamento das fontes de geração de contaminação remanescentes.

SUMMARY

The present study approaches an environmental contamination case arising from an electroplating factory operation and its implications for the population living in the contaminated area. This research was developed as a study case to investigate the release of hazardous substances to the environment, assessing the current and future involvement of the exposed area and the local population in order to identify actions to analyze, mitigate and prevent damage to the environment and public health.

The methodology to appraise environmental contamination and its effects on public health was based on the health evaluation criteria applied by ATSDR, whenever investigating probable areas of contamination. This evaluation consists of an environmental data survey, identifying the exposed population concerns about the problem and the potential effects on public health giving indication of the problem to the Department of Environmental Protection regarding the necessities for studies or deeper public health action within the area.

Available information on industry and socio-economical characterization over the area such as investigation of sources of contamination and their propagation, identification of the exposed population from the ways of exposure and the potential effects of the contaminants on public health have been surveyed.

The results indicated the presence of contaminants coming from the industry in all environmental effects surveyed. At first, the case was supposed to have resulted from industrial effluents not according to the required standards. Nevertheless the magnitude of the contamination proved to be a much more serious case involving inadequate disposal of solid waste in the soil and the reference to industrial accident occurrence.

The main effects identified were contamination of the ground water by chemical pollutants, death of dozens of animals from the nearby little farms, impossibility of using the contaminated area to grow crops and raise animals, and the harmful effects to public health referred to by the population, mainly connected with contaminated water consumption.

The situation encountered tends to get worse due to the spread of contaminated plume into the ground water, incorporation of pollutants in the soil and sediments of water collection which on one hand may be released to the environment, but on the other hand may extend along the contaminated area by the current increase of the residential nucleus occupation.

Based on the this study, it is recommended that a detailed investigation of the area along with a proposal and carrying-out of the remediation measures not only for the recovery of the region to keep its present use, but also for its alteration searching for a new use of the area which could be compatible to an environmental quality reached by the intervention proposed.

It is also recommended that public health and environmental protection authorities take measures to minimize the risk of human exposure to the contaminated area and the spread of the contamination by monitoring the quality of drinking water source supply, checking misuse of water arising from water bed, establishing criteria for cultivating and raising animals, and proposing measures to isolate the source of the remaining contamination.

1. INTRODUÇÃO

1.1 As Substâncias Químicas e Metais Pesados no Período Pós-Industrial

As substâncias químicas, sem dúvida, têm contribuído de modo significativo para o desenvolvimento das sociedades humanas, na agricultura e saúde, na indústria e transporte, na produção de bens de consumo e nas próprias atividades domésticas^C quotidianas.

Avanços extraordinários na tecnologia química foram alcançados, em todo mundo, nos últimos 50 anos. O desenvolvimento industrial contínuo e associado à produção de substâncias químicas e a metais não ferrosos tem contribuído para a melhoria da qualidade de vida no mundo industrializado e em muitos países em desenvolvimento (UNEP, 1992). Pode-se constatar que o aumento da produção e do uso de substâncias químicas, motivado pelo desenvolvimento de inúmeras atividades industriais, ocorre paralelamente à elevação do padrão de vida e ao conseqüente aumento da expectativa de vida das populações.

Mais de 11 milhões de substâncias químicas são conhecidas; cerca de 60.000 a 70.000 estão em uso corrente em países industrializados, das quais aproximadamente 3.000 são responsáveis por 90%, em massa, do total utilizado (UNEP, 1992).

A geração de produtos químicos tem aumentado exponencialmente, em função de seus múltiplos usos. O progresso tecnológico tem proporcionado novos materiais, novos métodos, novos processos e novas indústrias. Dessa forma, grande número de produtos químicos é produzido, comercializado, armazenado, transportado, utilizado e disposto no ambiente, trazendo enormes benefícios para a humanidade, mas também a possibilidade de riscos à saúde humana e ao ambiente.

Tal situação faz com que aumente significativamente a quantidade de produtos químicos distribuídos em âmbito mundial. Conseqüentemente, amplia-se o risco de exposição de um número crescente de

peessoas, seja no ambiente ocupacional ou nas mais diferentes atividades humanas diárias. Além disso, são detectadas no ambiente (ar, água e solo) concentrações cada vez maiores de uma variada gama de substâncias químicas, originárias de fontes industriais e de outras atividades antrópicas, o que contribui para agravar os riscos à saúde e ao ambiente.

Sob determinadas condições, certas substâncias se convertem em contaminantes ambientais, atuando sobre o ambiente e determinando seu potencial de contaminação em função de suas propriedades físico-químicas e características toxicológicas.

As substâncias químicas se introduzem no ar, na água e no solo, ao longo de seu ciclo de produção-transporte-utilização ou em sua eliminação, sendo estes os meios de propagação fundamentais pelos quais as substâncias tóxicas chegam ao homem.

As elevadas concentrações de algumas substâncias, a possibilidade de bioacumulação em organismos e a persistência no ambiente têm ampliado seus efeitos ambientais e toxicológicos, representando danos tanto para os organismos como para os ambientes onde se desenvolvem. Estes agentes químicos provocam alterações na estrutura e função dos organismos expostos, que se apresentam como enfermidades, incapacidades, mortes e até desaparecimento de espécies animais e vegetais, assim como o desequilíbrio da dinâmica natural dos ecossistemas, que propiciam, em última instância, o desaparecimento dos mesmos (ECO, 1985).

O manejo inseguro e não apropriado e, principalmente, a disposição inadequada de certos resíduos que contém substâncias químicas, potencialmente tóxicas, vêm acarretando situações críticas de degradação ambiental e sérios riscos à saúde. Se o destino de tais produtos é o solo, sem controle ambiental e sanitário, sua concentração e suas características podem resultar na contaminação desse local de disposição, constituindo-se num exemplar do que se denominam "áreas contaminadas".

1.2 Áreas Contaminadas: Efeitos ao Ambiente e à Saúde Pública

Áreas contaminadas podem ser definidas como locais que apresentam substâncias tóxicas distribuídas de forma não controlada nos diferentes compartimentos do ambiente, as quais, em função do nível de concentração existente, determinam riscos à saúde dos seres vivos ou prejuízos à qualidade dos recursos naturais (CUNHA, 1997). A Organização do Tratado do Atlântico Norte - OTAN (SIEGRIST, 1989) propõe a seguinte definição: "área contaminada é aquela que contém substâncias que, quando presentes em concentrações suficientemente altas, provavelmente, causarão danos direta ou indiretamente ao homem, ao meio ambiente ou a outro bem que deva ser protegido".

A contaminação de áreas pode ocorrer de diversas maneiras e em diferentes escalas, caracterizando-se por contaminação espalhada/difusa ou local/circunscrita. A contaminação difusa pode ser resultado de emissões atmosféricas que retornam à superfície do solo ou da aplicação de contaminantes no solo em larga escala, podendo afetar pequenas áreas ou grandes extensões de terreno. A contaminação local é resultado de uma disposição direta de contaminantes no solo, provenientes de uma fonte pontual.

A origem da contaminação de uma área pode estar associada a diversos tipos de fontes de poluição, destacando-se as atividades de natureza industrial, principalmente quando não existe um gerenciamento industrial eficiente. O risco de contaminação de áreas está presente nos sistemas de armazenamento de produtos e resíduos tóxicos; nos sistemas de tratamento e disposição de efluentes líquidos e de resíduos sólidos; no lançamento e infiltração no solo de esgotos sanitários e efluentes industriais; nas emissões gasosas de compostos poluentes que são trazidos ao solo pelas águas pluviais; na aplicação imprópria de agrotóxicos; nos acidentes no transporte de cargas perigosas; no armazenamento e distribuição de substâncias químicas, entre estas as de comercialização de combustíveis; no vazamento de tanques e tubulações; no abandono de embalagens contendo produtos químicos não utilizados; e nos depósitos de rejeitos radiativos.

A existência de áreas contaminadas pode trazer sérias conseqüências, tanto para o meio ambiente como para a saúde humana, tornando-

as restritas para determinados usos, tais como loteamentos residenciais e agricultura. A contaminação pode atingir mananciais de águas superficiais ou aquíferos subterrâneos, através do carreamento e da percolação de compostos tóxicos, que são intensificados pelas águas pluviais. Muitas vezes os mananciais de água potável subterrâneos têm que ser abandonados, devido à migração de compostos do solo contaminado para os aquíferos. Mesmo onde o solo contaminado não se apresenta como um perigo imediato, cuidados especiais devem ser tomados para evitar problemas sanitários e ambientais no futuro.

Os riscos à saúde apresentam-se em dois casos: quando a propagação da contaminação atinge, por diferentes vias de exposição, a população localizada dentro de sua área de influência; ou quando a área contaminada é reutilizada, especialmente se o novo proprietário ou usuário não tem conhecimento de sua contaminação anterior. A utilização de terras contaminadas para cultivo e pecuária, por exemplo, pode causar problemas de saúde, pois os contaminantes podem ser absorvidos pelas plantas ou pelos animais, entrando na cadeia alimentar. A contaminação de áreas também pode ter impactos ecológicos. Metais, por exemplo, além de seus possíveis efeitos sobre a saúde humana, podem causar impactos adversos às comunidades microbianas e fúngicas do solo.

Conforme referido, as atividades industriais figuram como importantes fontes de contaminação de áreas, principalmente os processos que empregam ou produzem substâncias perigosas e, conseqüentemente, geram resíduos perigosos.

Atenção especial deve merecer a contaminação de áreas decorrente da operação industrial envolvendo processos poluentes e ou procedimentos inadequados que foram posteriormente desativadas. Essas indústrias, ou tiveram seu processamento interrompido por mudança de local, geralmente para áreas mais afastadas dos centros urbanos, ou devido ao encerramento de suas atividades, em alguns casos, por exigência de órgãos de controle ambiental, em função do risco que representavam suas operações. Tais indústrias, cuja desativação é condição que lhes confere imunidade em relação à atuação dos órgãos de controle ambiental, se estiverem contaminadas, são fontes de emissão de poluentes para as águas superficiais e subterrâneas e se constituem em potencial de risco à exposição de pessoas e animais. Além disso, podem ter

alterado, com o passar do tempo, seu uso inicial, servindo posteriormente para abrigar atividades de lazer ou mesmo construções residenciais, as quais propiciam um contato mais direto das pessoas com a fonte de contaminação.

1.3 Áreas Contaminadas nos Países Desenvolvidos

O setor industrial é responsável pela geração da maior parte dos resíduos perigosos, que são os subprodutos inevitáveis das técnicas industriais (DGMA, 1982). Neste aspecto, ocupam um papel destacado a indústria química e petroquímica e a indústria metalúrgica.

Os países de industrialização mais antiga, os denominados países industrializados, possuem um elevado número de áreas contaminadas, principalmente aqueles onde o processo de crescimento industrial e urbano se deu de modo desvinculado de sistemas de planejamento que os direcionassem.

Apesar de mais de um século de industrialização, somente nas duas últimas décadas as sociedades tecnologicamente avançadas deram início a um processo de conscientização que resultou em grande preocupação com relação à contaminação de áreas, um dos problemas ambientais mais relevantes na atualidade.

Devido aos impactos que podem ^{ter} ~~afetar~~ os recursos hídricos, ^o ~~o~~ solo, a saúde pública e o patrimônio, o tema "áreas contaminadas" tornou-se de grande interesse e tem levado diversos países a adotar políticas voltadas para o gerenciamento e o controle desses locais de risco. Tais políticas envolvem, geralmente, a implementação de legislações específicas; a identificação dos locais contaminados e suspeitos de contaminação, traduzidos nos chamados inventários; a avaliação de saúde da população destes locais; o desenvolvimento de métodos de avaliação de risco visando a priorização das áreas em função do perigo que representam; o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de remediação; a criação de mecanismos que consigam subsidiar a remediação de áreas eleitas como prioritárias (fundos); e a minimização e prevenção de acidentes e da poluição.

Estas ações nacionais preventivas e de controle têm sido, na maior parte das vezes, desencadeadas após a ocorrência de um desastre ambiental ou quando este se torna iminente.

O Japão foi um dos primeiros países a introduzir um abrangente programa de controle de resíduos perigosos, embora não específico para áreas contaminadas, em seqüência ao incidente ocorrido, no final dos anos 60, na baía de Minamata (BATSTONE, 1989), onde se identificou uma contaminação de água do mar por mercúrio. Neste episódio, houve a morte de muitas pessoas devido à ingestão de peixes e moluscos contaminados pela descarga de resíduos no mar, provenientes de uma das principais indústrias químicas do país.

Love Canal, situado no estado de Nova Iorque, EUA, é exemplo típico dos problemas que podem ocorrer quando se tenta a reutilização de áreas contaminadas. O fato se deu em uma antiga área de depósito irregular de resíduos sólidos militares, cuja atividade ocorrera na década de 40 e sobre o qual, posteriormente, foi construído um núcleo residencial. Em 1975, cerca de trinta anos mais tarde, a população residente no núcleo começou a apresentar doenças e referir mal-estar. A causa só foi associada à contaminação quando produtos químicos começaram a aflorar no solo e nos porões das casas, evidenciando a contaminação ambiental. Diante do fato, a população foi evacuada e tiveram início dispendiosos trabalhos de recuperação da área. Além disso, a empresa responsável pela descarga dos produtos químicos foi levada, em 1988, a julgamento e foi condenada a recuperar o local, com gasto estimado de US\$ 250 milhões (KOVALICK, 1991).

Em decorrência desse incidente, os EUA foram um dos países pioneiros na implementação de políticas de gerenciamento e controle de áreas contaminadas, estabelecendo, em 1980, a primeira legislação sobre o tema - o "Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act" - CERCLA (KOVALICK, 1991). Este ambicioso plano de restauração ambiental referente aos danos causados pela disposição inadequada de resíduos perigosos e de prevenção de efeitos futuros, comumente denominado de "Superfund", envolveu, para um período de cinco anos, recurso de US\$ 1,6 bilhões, prioritariamente aplicados em um programa de remediação das áreas mais críticas existentes no país. Em 1986, foi promulgada a emenda "Superfund Amendments and

Reauthorization Act” - SARA, disponibilizando mais US\$ 8,5 bilhões para integrar o programa de remediação, além de US\$ 500 milhões encaminhados para aplicação na remediação de áreas contaminadas pelo vazamento de combustíveis em postos de serviço.

A lei de 1986 (SARA) também dirige as ações da Agency for Toxic Substances Disease Registry-ATSDR no desenvolvimento de atividades de saúde pública especificamente associadas com a exposição, real ou potencial, a agentes perigosos emitidos ao ambiente (ATSDR, 1992).

Nos EUA foram preliminarmente selecionadas 38 mil áreas que integraram o inventário do programa do “Superfund”, até dezembro de 1994, das quais 1.355 haviam sido relacionadas na lista de áreas prioritárias (National Priorities List - NPL). Tomou-se a decisão de remediação para 993 áreas, sendo que para 278, nesta data, já haviam sido implementadas ações de remediação (KOVALICK & KINGSCOTT, 1995).

Na Áustria, o principal estímulo para a elaboração da legislação nacional sobre áreas contaminadas resultou, em 1989, do descobrimento de um aquífero contaminado que colocava em risco a fonte de água potável para o abastecimento de cerca de 300 mil pessoas.

Na Holanda, a cidade de Lekkerkerk teve uma área residencial construída sobre local anteriormente utilizado para disposição de resíduos procedentes de indústrias de tintas, resultando em doenças associadas à exposição a produtos orgânicos. Em 1981, foram gastos US\$ 280 milhões para evacuação da população e limpeza da área, que constou de remoção e incineração do solo (KOVALICK, 1991). Em 1983 foi promulgada uma lei específica para a limpeza de áreas contaminadas (Soil Cleanup Act), posteriormente incorporada à legislação de proteção do solo. No entanto, já no início da década de 80, um inventário cadastrava mais de 4 mil áreas potencialmente contaminadas (KINGSBURY & BINGHAM, 1992).

Em 1989, foi instituído no Canadá um programa nacional de recuperação de áreas contaminadas por meio do Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME. Este programa dispunha inicialmente de recursos da ordem de US\$ 250 milhões, dos quais uma quinta parte era destinada ao

desenvolvimento de tecnologia e o restante aplicado às ações de remediação de locais contaminados (CCME, 1993).

A Alemanha reunificada já cadastrou 140 mil áreas de interesse, mas estima que este número se aproxime de 250 mil, das quais acreditam que cerca de 26 mil necessitarão sofrer ações de remediação. Tal fato contribui para comprometer 10 % do manancial hídrico subterrâneo do país, que é responsável por 90 % da água de abastecimento consumida*.

Diversos outros países, principalmente do oeste europeu, tais como Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Reino Unido e Suécia têm estabelecido mecanismos de ação, implantado o cadastramento e, em alguns casos, conduzindo ações de remediação de áreas contaminadas.

Embora tenha aumentado a conscientização e a preocupação dos países industrializados com a questão das áreas contaminadas, o problema ainda não está totalmente identificado, pois o assunto só começou a despertar interesse a partir da década de 80.

1.4 Áreas Contaminadas nos Países em Desenvolvimento

A ocorrência de locais contaminados não é privilégio dos países desenvolvidos. Em países em estágio de desenvolvimento que possuem áreas industrializadas, como o Brasil, também são observados diversos casos de contaminação. Nestes países o problema se acentua devido à forma desordenada em que se processam a expansão industrial, o crescimento urbano e a ocupação e transformação dos espaços disponíveis.

Nos países em desenvolvimento, a conscientização sobre os riscos representados pelas áreas contaminadas é ainda incipiente. Raramente existem locais adequados para disposição dos resíduos industriais e há uma menor disponibilidade de recursos para a implementação de ações de intervenção.

* MARKER, A. Palestra da Coordenação (GTZ) do projeto de Cooperação Técnica Brasil/RFA. Recuperação de solo e das águas subterrâneas em áreas de disposição de resíduos. CETESB, 1993.

1.5 Resíduos Industriais e Áreas Contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo

A Região Metropolitana de São Paulo - RMSP abriga uma população de quase 22 milhões de habitantes e conta, em seu parque industrial, com aproximadamente 60 mil indústrias. Tal magnitude indica uma grande possibilidade de existência de áreas contaminadas, devido à falta de planejamento territorial e à situação precária em termos das condições de tratamento e disposição final dos resíduos industriais.

Em decorrência da situação econômica brasileira, há um número razoável de indústrias que encerram suas operações. Em busca de mais espaço, diminuição dos custos operacionais e, em alguns casos, para se livrar de sanções ambientais, constata-se a mudança de outras instalações industriais para o interior do Estado. Ambos os casos resultam em diversas áreas industriais desativadas, sobre as quais já não se exerce forma alguma de controle ambiental. Sua utilização geralmente encontra restrições apenas locacionais, sujeitando-as somente ao cumprimento das leis de zoneamento urbano.

Nos municípios do interior do Estado de São Paulo, apesar de uma menor concentração de indústrias, as quais se localizam principalmente em zonas mais desenvolvidas das cidades médias e grandes, um fato causa preocupação em relação à possível contaminação do solo. Dos 645 municípios paulistas, 70% é abastecido com água proveniente do subsolo, oriunda dos 30 mil poços profundos existentes. Várias cidades paulistas dependem total ou parcialmente deste manancial para seu abastecimento público, resultando que cerca de 5,5 milhões de habitantes do interior do Estado são abastecidos diariamente por águas subterrâneas (FURTADO, 1997).

A razão pela qual as indústrias figuram entre as principais causadoras da contaminação de áreas deve-se não só à sua operação, que pode causar contaminação no próprio local de instalação, mas principalmente em função das emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos industriais que resultantes de suas atividades, os quais se dispersam. Os efluentes líquidos gerados necessitam ser lançados para fora da indústria, geralmente em corpos

d'água receptores. Os resíduos industriais, muitas vezes classificados como perigosos, caracterizam-se por terem a capacidade de espalhar os pontos potenciais de contaminação, pois, ao contrário dos resíduos líquidos e gasosos, necessitam ser transportados mecanicamente do ponto de geração ao local de tratamento e/ou disposição final (ROCCA, 1993), multiplicando a possibilidade de contaminação.

A disposição sem controle ambiental e sanitário de resíduos industriais, muitos dos quais não passaram por qualquer processo de tratamento prévio para minimizar seu potencial poluidor, é uma das principais causas de contaminação de áreas. A descarga incontrolada de resíduos industriais pode trazer problemas de poluição do ar, água e solo, além de riscos de intoxicação de animais e pessoas que estiverem expostos aos seus efeitos.

A Resolução CONAMA nº. 06 de 15.06.88 (CONAMA 88) estabelece a obrigatoriedade da elaboração de um inventário de resíduos industriais gerados no território de cada unidade da federação, pelo respectivo órgão estadual de controle ambiental.

Para atender a essa resolução, a CETESB, através do Inventário de Resíduos Industriais da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Vale do Ribeira - 1992 (CETESB, 1992), revisado em 1993, selecionou, segundo critérios, 512 indústrias que constituem o universo de fontes prioritárias de controle de poluição por resíduos sólidos nessas três regiões de atuação. Num segundo momento houve um aprimoramento na seleção das indústrias, com a implementação do Programa de Controle de Resíduos Sólidos Industriais pela CETESB. Desse modo, foram levantadas as informações necessárias para inventariar a geração de resíduos industriais em 27 tipos diferentes de atividades industriais, que englobam os processos industriais das 512 indústrias, conforme dados observados na Tabela 1.

Para a RMSP, o inventário já citado (CETESB, 1992) registra a geração de quase 2 milhões de ton/ano de resíduos industriais, gerados pelas indústrias priorizadas, das quais mais de 183 mil ton/ano são classificados como resíduos Classe I - perigosos. Do total de resíduos sólidos produzidos, apenas

48,15 % sofrem algum tipo de tratamento, sendo que grande parte (35,68%) tem como destino final a disposição no solo, sem tratamento.

Na geração quantitativa de resíduos sólidos, os subgrupos industriais que mais se destacam são: metalurgia (29,32%); papel e papelão (27,06%); e veículos e autopeças (16,68%), seguidos dos subgrupos química (9,58%) e bebidas (3,39%), respectivamente. Inversões ocorrem entre estes setores industriais quando a variável é qualitativa, mostrando que a indústria química é a responsável pela maior parcela da geração de resíduos perigosos (48,58%), seguida da indústria de veículos e autopeças (24,77%), metalúrgica (16,21%) e de papel e papelão (3,03%).

Tabela 1 - Distribuição de empresas segundo os códigos de atividades do IBGE

Código IBGE	Número de Empresas	Descrição
10	22	Transformação de minerais não metálicos
11	123	Metalúrgica
12	25	Mecânica
13	24	Material elétrico e de comunicação
14	42	Material de transporte
15	1	Madeira
16	2	Mobiliário
17	22	Papel e papelão
18	11	Borracha
19	4	Couros e peles de produtos similares
20	124	Química
21	15	Produtos farmacêuticos e veterinários
22	7	Perfumaria, sabões e velas
23	15	Produtos de matérias plásticas
24	18	Têxtil
25	5	Vestuário, calçados e artefatos de tecidos
26	23	Produtos alimentares
27	3	Bebidas
28	1	Fumo
29	3	Editorial e gráfica
30	12	Diversas
31	1	Indústria de utilidade pública
50	1	Serviço de transporte
51	1	Serviço de comunicação
53	2	Serviço de reparação, manutenção, conservação
55	3	Serviços comerciais
60	2	Comércio atacadista
Total de Empresas	512	

Com relação às 183 mil ton/ano de resíduos perigosos - Classe I - produzidos na RMSP pelas indústrias inventariadas, cerca de 58% sofrem algum tipo de tratamento, 30,98% estão armazenados, geralmente no próprio local de geração sendo que mais de 20 mil ton/ano (11,12%) são dispostos no solo ou lançados no sistema de esgotos sanitários, como se pode visualizar na Figura 1.

Neste último grupo - resíduos industriais perigosos dispostos no solo ou lançados no sistema de esgotos sanitários - a destinação dada a estes resíduos segundo os diferentes tipos de disposição está apresentada na Figura 2. As 20.383 ton/ano desses resíduos Classe I gerados na RMSP representam um grave risco de contaminação, uma vez que essas formas de destinação não são ambiental e sanitariamente adequadas para a disposição de resíduos contaminados. A grande maioria (62%) é encaminhada para disposição a céu aberto, os denominados lixões; 21% vão para aterro, municipal ou particular, que normalmente trata-se, também, de disposição incontrolada à céu aberto; e 16% acabam sendo indevidamente lançados no sistema público de coleta de esgotos sanitários (CETESB, 1992). Deve-se destacar que nenhum resíduo industrial perigoso é encaminhado para aterro industrial, que é a forma sanitária e ambientalmente adequada de disposição de resíduos Classe I no solo.

O subgrupo Metalurgia, comendo-se de 10 distintos setores industriais, tem uma participação importante na geração de resíduos industriais em geral. A Metalurgia representa o primeiro setor na produção total de resíduos industriais e terceiro na geração de resíduos industriais perigosos. Analisando-se a disposição dos resíduos industriais perigosos no solo constata-se que este subgrupo é responsável pelo lançamento de 44% do total (CETESB, 1992), conforme apresentado na Figura 3.

O setor de Galvanoplastia integra o subgrupo Metalurgia, apresentando-se como o quinto segmento de maior geração de resíduos sólidos industriais entre os demais setores componentes do subgrupo, sendo representativo em termos do potencial poluidor.

Figura 1: Destino dos resíduos industriais perigosos das indústrias inventariadas na Região Metropolitana de São Paulo

(*) = Aterros de Particulares de Terceiros

Fonte: Inventário de resíduos industriais da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Vale do Ribeira, CETESB, 1992

Figura 2: Tipo de disposição dos resíduos industriais perigosos gerados pelas indústrias inventariadas na Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: Inventário de resíduos industriais da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Vale do Ribeira, CETESB, 1992

Figura 3: Disposição no solo dos resíduos industriais perigosos, produzidos pelas indústrias inventariadas da Região Metropolitana de São Paulo segundo sub-grupo de atividade.

Fonte: Inventário de resíduos industriais da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Vale do Ribeira, CETESB, 1992

A galvanoplastia ou setor de tratamentos superficiais, também denominado de galvanotécnica ou eletrodeposição, é um ramo industrial no qual a atividade básica consiste em uma transposição de íons metálicos por meio de corrente elétrica ou métodos químicos. Os tratamentos superficiais podem incluir processos de decapagem, eletrodeposição, anodização e recobrimentos químicos. Esses processos utilizam produtos químicos que contêm metais pesados, podendo liberar estes metais e cianeto para o ambiente.

As dimensões dessas indústrias podem variar desde grandes instalações, que fornecem peças para montadoras de automóveis e para a indústria aeronáutica, até empresas de pequeno porte, como pequenas fábricas de bijouterias com produção bastante limitada. No entanto, este setor caracteriza-se pelo tamanho reduzido da maior parte das instalações e o emprego de um grande número de produtos contaminantes, freqüentemente tóxicos.

Justamente dentro deste segmento industrial é que se desenvolveu a presente pesquisa. Trata-se de um estudo de caso que envolveu uma investigação em uma área que foi comprovadamente contaminada por efluentes líquidos e resíduos sólidos provenientes de uma indústria galvanotécnica. O estudo, inicialmente atendendo a uma solicitação do Poder Judiciário para responder a uma perícia ambiental, foi implementado posteriormente, enfatizando-se os aspectos voltados à saúde ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta aspectos técnicos e dados quantitativos, obtidos em estudos realizados por alguns autores sobre metais pesados, seus resultados benéficos e efeitos indesejáveis ao ambiente e à saúde humana. O capítulo aborda também as características da indústria de galvanoplastia como fonte de contaminação ambiental, além dos procedimentos utilizados para controle da poluição pelo órgão estadual de controle ambiental e para comunicação de riscos à saúde pela Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR.

A revisão bibliográfica apresentada orientou o processo de investigação sobre o assunto analisado e a formulação de um arcabouço teórico que pudesse contribuir para a compreensão do problema.

2.1 Metais Pesados como Contaminantes Ambientais

Neste item pretende-se demonstrar como os metais pesados se convertem em contaminantes ambientais, como se processa sua atuação no ambiente e os respectivos potenciais de contaminação, a partir de suas propriedades físico-químicas e características toxicológicas.

Dentre as substâncias tóxicas normalmente lançadas ao meio ambiente, os metais pesados têm significativa importância, principalmente devido ao seu poder cumulativo em organismos vivos, representando sérios riscos à saúde. Por suas características de toxicidade e bioacumulação, os metais pesados têm sido estudados profundamente, destacando-se os aspectos relativos à exposição ocupacional, à contaminação de alimentos e à sua presença em corpos d'água que servirão para abastecimento público.

A utilização dos metais pelo homem influencia seu potencial de risco à saúde em pelo menos duas grandes vias: a primeira pelo transporte ambiental, através da contribuição antropogênica ao ar, água, solo e alimentos e, a segunda, por alterar a especiação ou forma bioquímica do elemento. (GOYER, 1986).

Os metais são redistribuídos naturalmente através dos ciclos geológico e biológico, o que é intensificado pelas atividades antropogênicas. O ciclo biológico inclui a bioconcentração pelas plantas e animais e a incorporação na cadeia alimentar, principalmente através da água e do solo. (GOYER, 1986).

→ No caso de efeitos sobre a saúde, a forma química do metal pode ser um fator importante, não somente para a absorção pulmonar e gastrointestinal, mas também em termos da distribuição corporal e dos efeitos tóxicos que podem ser causados (GOYER, 1986).

Sob certas condições, os metais podem se transformar em cátions a partir de sua forma elementar. STUMM & BILINSKI (1973) resumiram as formas de ocorrência dos metais em águas naturais: íons metálicos livres; complexos inorgânicos; complexos orgânicos (quelatos); colóides altamente dispersos em torno de material orgânico de alto peso molecular e adsorvidos em colóides; e partículas orgânicas precipitadas. Por exemplo, o mercúrio na forma orgânica do metil mercúrio ($(CH_3)_2Hg$) é muitas vezes mais tóxico que o mercúrio metálico (Hg^0). Este pode se difundir através dos tecidos, enquanto que o primeiro é mais perigoso por ser solúvel e de fácil assimilação pelo organismo.

Vários fatores devem ser considerados em relação à intoxicação de organismos aquáticos por metais. Normalmente o cátion metálico é o principal responsável pela ação tóxica do composto metálico, mas pode ocorrer variações do grau de toxicidade relacionadas com a natureza do ânion (BRANCO, 1986).

A maioria dos metais pesados afeta múltiplos sistemas orgânicos, sendo que os alvos da toxicidade são processos bioquímicos específicos (enzimas) e/ou membranas de células e organelas. O efeito tóxico do metal geralmente envolve uma interação entre o íon metálico livre e o alvo toxicológico (GOYER, 1986).

Vários fatores exógenos influenciam a ocorrência de efeitos tóxicos ocasionados por metais no indivíduo, incluindo entre eles a idade, a dieta e a interação e a exposição concorrente com outros metais tóxicos. Fatores decorrentes do estilo de vida, como consumo de álcool e fumo, podem ter influência indireta sobre a toxicidade (GOYER, 1986). Por outro lado, os metais essenciais ao

organismo humano podem alterar metabolicamente a toxicidade por interação ao nível celular (GOYER, 1986).

2.1.1. Ocorrência de Metais Pesados

Os metais pesados encontrados no ambiente podem ser provenientes de fonte natural ou artificial, esta última resultante da atividade humana.

→ Naturalmente os metais são encontrados em forma de sais metálicos (alguns tóxicos e outros não) e, quando em contato com a água, são transformados por ação das condições ambientais. Para certos sais metálicos a água, em condições normais, não apresenta a capacidade de dissolver estes compostos. Entretanto, quando ocorre uma água ácida (H^+), isso pode ocorrer. Verifica-se então uma grande interação entre os metais e os compostos orgânicos. Por outro lado, para valores de pH alto, ocorre considerável precipitação dos metais na forma de hidróxidos (CHENG et al, 1975).

Em todas as fases do ciclo hidrológico os metais são incorporados à água e transportados por ela. Esse transporte se dá em concentrações que, geralmente, não causam danos ao ambiente. Pode ocorrer, entretanto, que um aquífero ao atravessar uma região onde há uma concentração elevada de metal, este se incorpore à água, poluindo-a. Essa incorporação também pode ocorrer por meio da erosão natural (CRAUN & Mac CABE, 1975).

Como resultado da atividade antrópica, encontra-se uma série de elementos lançados ao ambiente que podem acarretar diversos inconvenientes, destacando-se os metais pesados por possuírem características tóxicas e serem cumulativos no organismo. No caso dos metais pesados, as principais fontes artificiais são representadas pelos efluentes líquidos e resíduos industriais e pelas atividades de mineração e fundição de metal.

Os efluentes líquidos industriais possuem grande quantidade de substâncias indesejáveis e prejudiciais ao homem, dissolvidas e/ou em suspensão. Quando uma indústria utiliza em seu processamento industrial determinados metais, estes, conseqüentemente, estarão presentes em seus efluentes líquidos e respectivos resíduos sólidos.

A atividade de mineração, através do manuseio de metais, também contribui para a introdução artificial de diversos metais pesados no ambiente, seja através da mineração do próprio metal ou como subproduto da mineração de um outro, quando este apresenta viabilidade econômica, ou ainda, como resíduo não aproveitável economicamente.

As emissões de metais originárias de fontes industriais excedem às decorrentes de fontes naturais. Portanto, as indústrias representam um importante impacto no ciclo biogeoquímico global desses elementos (UNEP, 1992).

2.1.2. Comportamento dos Metais Pesados no Ambiente

Quando lançados em águas naturais, o comportamento dos metais pesados é diretamente influenciado pela quantidade e qualidade do material em suspensão presente. A maioria dos metais é facilmente adsorvido aos sólidos em suspensão na água, originando daí uma fase particulada do metal que coexiste com a fase dissolvida. A afinidade entre o metal dissolvido e as partículas em suspensão pode ser de três naturezas: iônica, física ou química, ocorrendo, normalmente, uma combinação destas três formas.

A relação entre a fase dissolvida e a particulada do sistema é, basicamente, determinada pelos seguintes fatores: tipo de partícula presente, pH do meio, grau de solubilidade do composto químico e a presença de outros compostos.

Uma vez ocorrido um lançamento de metal num rio, estabelece-se uma troca constante entre a fase dissolvida e a particulada até que seja atingido o ponto de equilíbrio, quando então as concentrações permanecem constantes.

O efeito provocado pela passagem das águas de um rio por um reservatório ou por trechos sem turbulência e de baixa velocidade é a remoção, por sedimentação, de uma parcela das partículas em suspensão. Por esse processo, parte dos metais adsorvidos nestas partículas é removida da água e retida nos sedimentos de fundo, onde permanece indefinidamente, a menos que ocorra

ressuspensão dos sedimentos provocada por descargas de fundo, aumento de vazão ou turbulência forte.

No meio aquático, os contaminantes estão expostos a diversas transformações químicas e bioquímicas, podendo afetar sua disponibilidade biológica ou toxicidade, de modo a aumentá-las ou diminuí-las. Produtos de degradação ou transformação muito mais tóxicos podem resultar a partir do contaminante original (OMS, 1976). Também no ar e nos alimentos encontram-se diversos metais que podem constituir fontes mais importantes de ingestão que a própria água.

O impacto da contaminação de águas naturais é geralmente monitorado através de valores de toxicidade para peixes (BRANCO, 1960). Entretanto, algumas concentrações que não são tóxicas para a vida aquática podem afetar a saúde humana, quando encontradas em águas de abastecimento público. Por possuírem a propriedade cumulativa nos tecidos, torna-se importante o controle da dieta diária destes elementos.

A toxicidade para organismos aquáticos é causada, além dos íons metálicos, por muitos ânions e diversos compostos inorgânicos presentes na água, sendo que os sais, quando em altas concentrações, são prejudiciais, devido à elevação da pressão osmótica (BRANCO, 1986). O pH do meio é fortemente alterado por alguns compostos, enquanto outros, ávidos de oxigênio, chegam a causar asfixia em organismos aquáticos devido à retirada do oxigênio do meio externo ou mesmo do meio interno do organismo (BRANCO, 1986).

No ambiente, certos compostos metálicos podem causar a destruição parcial ou total de espécies naturais do local. Fenômenos de toxidade aguda e mais específicas ocorrem com freqüência na água que recebe despejos industriais contendo metais pesados. Há, então, uma seleção dos organismos capazes de sobreviver à ação dessas substâncias.

Uma interferência no ciclo natural do metal traz uma excessiva disponibilidade do mesmo, aumentando seus efeitos tóxicos. Por outro lado, muitas plantas e animais desenvolveram uma tolerância para um particular metal em excesso ao que se requer para seu crescimento normal. Tais organismos podem

causar um problema ambiental por acumulação e transferir tais metais a organismos mais susceptíveis ao efeito, através da cadeia alimentar.

Os compostos de metais pesados, quando dispostos no solo, podem vir a contaminar o próprio local de disposição, podem ser transportados através de escoamento superficial aos corpos d'água superficiais ou podem também ser carregados para o subsolo, podendo atingir as águas subterrâneas.

As características do subsolo têm grande influência no transporte de contaminantes químicos. De particular importância é a presença da zona não saturada, isto é, a zona situada entre o nível superficial do lençol freático e a superfície do solo, localizada imediatamente abaixo do local de disposição. Nesta zona o movimento da água ocorre, geralmente, na direção vertical, até ser encontrada a camada saturada, ou o nível do lençol freático subterrâneo. A zona não saturada tende a restringir o movimento do percolado que carrega os metais pesados através do solo, aumentando a oportunidade de atenuação por meio de processos físicos, químicos e bioquímicos (BATSTONE, 1989).

Os metais, uma vez retidos na zona não saturada do solo, podem permanecer aí imobilizados indefinidamente. No entanto, esta condição poderá ser alterada pela ação de fatores externos, tais como: a percolação de águas pluviais e a infiltração no solo de certas substâncias. No primeiro caso, as águas pluviais tendem a percolar arrastando lentamente os metais retidos e, no segundo caso, certas substâncias têm a capacidade de solubilizar os compostos metálicos, o que facilita sua movimentação, podendo atingir a zona saturada do solo. Uma vez na zona saturada, dependendo da concentração dos metais, há o risco de contaminação das águas subterrâneas e a conseqüente propagação dos contaminantes é facilitada por seu fluxo.

No caso de metais-traço, a solubilidade é controlada principalmente pela especiação, mas isto pode ser reduzido por adsorção e troca iônica. A adsorção de compostos por partículas do solo é um importante fenômeno que tende a restringir o movimento dos contaminantes lançados no solo (BATSTONE, 1989).

Outros importantes fatores, que podem influenciar o comportamento desses contaminantes são a geologia e a hidrogeologia, além das condições climáticas do local.

2.1.3 Metais Pesados como Problema de Saúde Pública

Certos metais podem ser benéficos ou prejudiciais ao homem dependendo de sua concentração e fórmula química. São conhecidos diversos metais como essenciais na dieta humana, sendo que o cálcio, o magnésio, o potássio e o sódio estão presentes no corpo em grande quantidade, enquanto que vários outros (o cobalto, o cobre, o cromo, o estrôncio, o ferro, o fósforo, o manganês, o molibidênio, o selênio e o zinco) aparecem em quantidades-traço, definidas como quantidades menores que 0,01% (em peso) do corpo humano total (HAMILTON & HARDY, 1974).

Estes metais apresentam toxicidade variável entre si. Destes o cobalto, o cobre, o cromo, o fósforo e o selênio são considerados os mais tóxicos. O cromo é um conhecido carcinogênico e, com relação ao cobalto, também há uma forte suspeita de ter uma capacidade similar. O manganês e o zinco são razoavelmente tóxicos, mas os demais metais essenciais tem baixa toxicidade, especialmente considerando-se as formas ionizadas, por via oral (PETERSON, 1977). Segundo LOURIA et al (1972) não há correlação entre a necessidade nutricional e o grau de toxicidade dos metais.

Por suas características de toxidade e bioacumulação ao longo do tempo, aliadas aos efeitos de antagonismo e sinergismo que podem vir a apresentar, os metais pesados merecem atenção especial, uma vez que os danos acarretados ao ambiente e, conseqüentemente, aos seres vivos, são graves e muitas vezes irreversíveis. Quando um elemento potencialmente tóxico é absorvido pelo organismo humano, em concentração muito acima das normais, podem ocorrer danos à sua estrutura ou o elemento tóxico pode penetrar nas células e causar inibição das atividades enzimáticas, numa tal extensão que altera o funcionamento normal dessas células (PURVES, 1977).

Outras formas pelas quais os metais pesados podem entrar em contato com o homem são através do ar inalado, dos alimentos e por via dérmica.

Plantas e animais podem acumular os metais pesados em suas estruturas, transferindo-os ao homem através da cadeia alimentar. Formas gasosas e particuladas podem entrar no organismo por meio do sistema respiratório, enquanto certas formas líquidas e gasosas podem atingir o organismo, ^{nao} entrar através da pele. Uma vez no organismo humano, os metais podem vir a representar sérios danos à saúde dos indivíduos.

Algumas das substâncias inaladas são removidas por ação das mucosas na passagem pelos pulmões e brônquios, sendo transportadas ao aparelho gastrointestinal, onde podem exercer um efeito tóxico direto ou podem ser absorvidas e transferidas para outros órgãos e tecidos (DULKA, 1970).

Muitos metais são capazes de sensibilizar a pele ou o trato respiratório humano, sendo o níquel o metal mais conhecido pela capacidade de sensibilização. Além dele, o berílio, o ouro, o cobalto, o cromo hexavalente, o mercúrio e o tálio são também conhecidos por sensibilizar a pele (PETERSON, 1977).

A evidência de carcinogenicidade devido aos metais relaciona-se mais precisamente com compostos específicos de metais do que com o próprio elemento metálico, implicando em que algumas formas dos metais possam ser carcinogênicas (GOYER, 1986). Por exemplo, o bisulfeto de níquel (Ni_3S_2) é mais carcinogênico que o monossulfeto de níquel (NiS). Entretanto, se uma forma qualquer do metal é carcinogênica, o próprio metal deve ser considerado carcinogênico, o que é muito importante devido à sua localização, ao seu uso industrial e à sua persistência no ambiente. (GOYER, 1986).

Investigações mostraram que o cádmio é um dos metais causadores de defeitos de nascença em animais ou humanos, portanto teratogênico (ISHIZU, 1973) e suspeito de ser carcinogênico (PETERSON, 1977).

Sinergismo e antagonismo dos efeitos tóxicos são dois mecanismos que podem ocorrer entre os metais. Os efeitos tóxicos e a teratogenicidade do cádmio parecem ser inibidos pelo zinco e selênio, os quais, também, reduzem a teratogenicidade do mercúrio. O cobre, que se mostra altamente tóxico para a vida animal, é antagônico à ação tóxica do molibidênio em gado e aves e para a ação do zinco em ratos. (PETERSON, 1977)

O cromo em sua forma hexavalente, que é a forma mais tóxica deste metal, é conhecido por causar câncer de pulmão em algumas pessoas expostas a longo tempo (ENTERLINE, 1974). O câncer, neste caso, geralmente se manifesta somente após vários anos de exposição, suficiente para causar perfuração no septo nasal bem antes da doença aparecer (HANSLIAN, 1968).

Evidências indicam que o níquel pode ser um carcinogênico na forma iônica e como metal. Níquel carbonila, formado na purificação deste metal, está associado com o aumento na incidência de câncer de pulmão entre os expostos a este processo (PETERSON, 1977).

Outros metais que as evidências epidemiológicas indicam serem carcinogênicos, capazes de provocar câncer de pulmão, são o cromo e o arsênio (GERALD, 1974).

Na água de abastecimento público, os metais pesados representam um risco potencial constante a muitas pessoas que se utilizam desta água para suas atividades vitais, principalmente levando-se em conta a propriedade de bioacumulação.

O sistema de abastecimento de água é considerado uma das fontes de contaminação da água potável por metais. No abastecimento público de água, os produtos químicos adicionados na etapa de tratamento apresentam-se como um dos responsáveis pela contaminação da água por metais, como é o caso do cobre adicionado à água para controle do desenvolvimento de algas e o alumínio, utilizado como coagulante para a etapa de floculação (CRAUN & MacCABE, 1975). A corrosão da rede de distribuição de água contribui enormemente para a entrada de metais na água. Se a água a ser distribuída tiver características corrosivas, sua qualidade pode ser alterada quando em contato com as tubulações metálicas (CRAUN & MacCABE, 1975).

Da mesma maneira, a água de abastecimento pode ser contaminada pelos metais através dos produtos de corrosão dos encanamentos domésticos, devido à agressividade da água que o percorre. MILLETTE et al (1980) relataram a relação entre doenças cardiovasculares e a contaminação das águas de abastecimento por metais.

CRAUN & MacCABE (1975), revendo a literatura, apresentam uma série de estudos onde se observa uma relação entre qualidade da água e mortalidade por doenças crônicas. Tal fato tem preocupado os pesquisadores desde que Kobayashi correlacionou a acidez, encontrada em sistemas de abastecimento de água no Japão, e a mortalidade por doenças cerebrovasculares. Alguns estudos foram efetuados correlacionando água dura e doenças cardiovasculares, levando em consideração idade-sexo, os quais concluem que, em locais onde a água é dura, a mortalidade por tais doenças é menor que em regiões onde se tem água branda (MASIRONE, 1970).

CRAUN & MacCABE (1975), levando em consideração estudos sobre a maneira de absorção de metais pelo organismo humano observaram que, segundo alguns autores, os alimentos são considerados como a maior fonte.

Mais preocupantes que a presença de metais pesados na água de abastecimento, incorporados à água nas etapas de tratamento e distribuição, são os casos de contaminação de águas do lençol freático em locais onde o consumo é efetuado através de poços freáticos residenciais. Nestes casos, na grande maioria das vezes, não se dispõe de um sistema adequado de monitoramento da qualidade da água, o que impede a identificação da sua contaminação por metais pesados.

2.2. Características dos Metais Pesados Estudados e Efeitos ao Ambiente e à Saúde Pública

Para os cinco metais pesados considerados importantes para o presente trabalho - cádmio, cobre, cromo, níquel e zinco - foi efetuada uma revisão bibliográfica específica em relação às suas características físicas, químicas e toxicológicas, de modo a contribuir para a análise dos dados alcançados através da amostragem efetuada nos diferentes meios pesquisados. Os itens abordados, para cada metal, foram: fontes e principais usos; fontes de exposição ambiental; e introdução em organismos e toxicidade.

2.2.1. Cádmio

a. Fontes e Principais Usos

O cádmio é obtido na refinação de complexos de zinco e outros metais, pois não existe nenhum mineral específico de cádmio explorável economicamente. Cádmio é também encontrado no lodo após a recuperação eletrolítica do zinco (ITII, 1977; WHO, 1992a). Ocorre naturalmente em rochas fosfáticas, utilizadas na fabricação de fertilizantes, constituindo-se, desse modo, em importante fonte de contaminação ambiental.

Cádmio, que por muito tempo foi um metal raro na indústria, tem se tornado largamente utilizado na manufatura de ligas e na indústria galvanotécnica, devido, respectivamente, às suas valiosas propriedades metalúrgicas (GILMAN et al, 1981), sua alta resistência à corrosão e suas propriedades eletrolíticas e químicas (GREENE, 1980).

As principais aplicações do cádmio podem ser resumidas em cinco categorias: galvanoplastia; estabilizadores para PVC; pigmentos em plásticos e vidros; eletrodos em baterias de níquel-cádmio; e como componente de várias ligas.

Outras aplicações menores desse metal incluem fertilizantes e fungicidas, pintura fosforescente em tubos de televisão e agente de secagem para borracha (GIDDINGS & MONROE, 1972). Devido a seu grande poder de absorção de nêutrons, atualmente é utilizado em barras de controle em reatores nucleares.

b. Fontes de Exposição Ambiental

Cádmio é liberado para o ar, solo e água por atividades humanas. As três principais fontes antropogênicas de cádmio para o ambiente são aquelas decorrentes da mineração de outros metais não ferrosos, do processamento industrial onde o cádmio está presente e da disposição de resíduos que contenham cádmio em sua composição (WHO, 1992a).

Durante o ano de 1983, a média de emissão total global de cádmio por fontes humanas foi de 7.570 ton, o que representou 59% do total de cádmio produzido

naquele ano. As fontes naturais representam de 10 a 15% do total, sendo que a atividade vulcânica é a principal fonte natural de emissão de cádmio, inclusive o vulcanismo marinho (WHO, 1992a).

Processos térmicos industriais tais como: produção de ferro, queima de combustíveis fósseis e fabricação de cimento são atividades emissoras de cádmio, pois esse metal é constituinte natural das matérias primas empregadas (GIDDINGS & MONROE, 1972; WHO, 1992a).

As indústrias siderúrgicas, que produzem aço utilizando-se de sucata metálica que contenham peças com as superfícies recobertas por cádmio, são também responsáveis por consideráveis emissões desse metal para a atmosfera, minimizadas pelos sistemas de tratamento dos gases emitidos através do processamento industrial (GIDDINGS & MONROE, 1972; WHO, 1992a).

Incineradores municipais de resíduos urbanos são outra fonte de emissão de cádmio proveniente da queima de baterias e plásticos que contêm pigmentos e estabilizantes de cádmio (WHO, 1992a; GIDDINGS & MONROE, 1972). Lodo de esgoto sanitário recebe o cádmio de fontes industriais, particularmente quando existem indústrias de galvanoplastia e pigmentos como contribuintes.

Os resíduos sólidos, resultantes de uma gama variada de atividades antrópicas, que tem como destino final os aterros sanitários resultam em incremento de cádmio ao nível local. Embora os resíduos sólidos urbanos apresentem baixa concentração do metal em sua composição, na maior parte dos casos a disposição se dá em aterros sem controle, aumentando o risco.

De grande significado potencial para a contaminação ambiental são os resíduos sólidos provenientes da produção de metais não ferrosos; da manufatura de artigos que contenham cádmio; das indústrias galvanotécnicas e as cinzas e escórias dos incineradores de resíduos sólidos. Todos esses resíduos são caracterizados pelo alto teor de cádmio e requerem disposição adequada em locais controlados como forma de prevenir a mobilização do metal para as águas subterrâneas (WHO, 1992b).

O cádmio está largamente distribuído na crosta terrestre apresentando concentração média de cerca de 0,1 mg/kg (WHO, 1992b). Em áreas que não possuem mineração, a concentração de cádmio na superfície do solo está entre

0,1 a 0,4 mg/kg (PAGE et al, 1981; WHO, 1992b) e em solos não vulcânicos a concentração média encontra-se entre 0,01 a 1 mg/kg, mas valores já encontrados mostram que podem atingir níveis superiores a 4,5 mg/kg. (WHO, 1992b).

A concentração média de cádmio presente na água do mar está em torno de 0,1 µg/litro ou menos (KORTE, 1983), enquanto que para água de rio, SHILLER & BOYLE (1987) afirmam que amostras coletadas dos rios Amazonas, Orinoco, Mississipi e Yangtze, entre 1976 e 1982, apresentaram cádmio dissolvido numa concentração entre 1,1 a 13,5 ng/litro. Atividades de mineração são as responsáveis pela maior emissão de cádmio para o meio aquático (JOHNSON & EATON, 1980).

Em sedimentos de rios e lagos têm sido reportados níveis de cádmio acima de 5 mg/kg, enquanto para sedimentos marinhos os valores se apresentam entre 0,03 a 1 mg/kg (KORTE, 1983).

A acidificação do solo e lagos pode resultar em aumento da mobilidade do cádmio proveniente do solo e sedimentos concorrendo para o acréscimo dos níveis do metal nas águas superficiais e subterrâneas (WHO, 1986).

Solos poluídos por aplicação de esgotos sanitários podem conter níveis de cádmio acima de 57 mg/kg (peso seco) e em áreas vizinhas à indústrias de processamento de metais os níveis podem estar acima de 160 mg/kg (FLEISCHER, 1974).

O cádmio é removido da atmosfera por simples deposição das partículas sendo esta remoção intensificada através da precipitação pluviométrica. Plantas que crescem perto de fontes atmosféricas de cádmio podem conter níveis elevados do metal (CARVALHO et al, 1986), entretanto não é sempre possível distinguir se o cádmio resulta diretamente da deposição superficial ou se deriva da retirada do solo pelas raízes, porque o nível do metal no solo dessas áreas, geralmente, está acima do normal (WHO, 1992b).

c. Vias de Introdução em Organismos e Toxicidade

O Cádmio apresenta alto potencial tóxico e nenhuma qualidade conhecida que o torne benéfico ou essencial aos processos vitais na natureza. Exerce efeito cumulativo e é tóxico a concentrações relativamente baixas, para quase todas as espécies de seres vivos.

Não há nenhuma indicação que o cádmio seja um microelemento essencial ao processo biológico. Ao contrário, ele é tóxico mesmo em baixas concentrações e a intoxicação ocorre por meio de inalação e ingestão. A maior via de exposição ao cádmio para a população não fumante em geral é a alimentar; sendo a contribuição por outras vias pequena.

Segundo ZANINI e OGA (1985), a faixa normal de ingestão diária de cádmio está entre 2 e 200 μg , com média de 20 a 40 $\mu\text{g}/\text{dia}$. A entrada de cádmio no organismo através da água é normalmente menor que 1 μg , baseando-se num consumo diário de 2 litros.(WHO, 1992a).

Apenas 5 a 10% do cádmio ingerido é absorvido pelo organismo, enquanto que para o metal inalado, a partir de poeiras e fumos, são absorvidos entre 20 e 25%. WHO (1992a), relata que uma média de 5% do total de cádmio administrado via oral é absorvido, mas valores individuais mostram uma absorção de menos de 1% até valores superiores a 20%. Para GOYER (1986) esta absorção está entre 5 e 8 %.

Dados de experiências em animais e humanos mostraram que a absorção pulmonar é mais alta do que a absorção gastrointestinal (WHO, 1992a). Em função da especiação química, do tamanho da partícula e da solubilidade em fluidos biológicos, mais de 50% dos compostos de cádmio inalados podem ser absorvidos (WHO, 1992a). A absorção gastrointestinal é influenciada pelo tipo de dieta e pelo status nutricional (WHO, 1992a) destacando-se a deficiência orgânica em cálcio que aumenta a absorção, e a presença de zinco que faz o inverso (GOYER, 1986).

Evidências industriais experimentais mostram que o cádmio é um dos metais mais perigosos. Fumos de cádmio recém gerados mostraram-se mais agudamente tóxicos do que os fumos produzidos há mais tempo e que já se encontram agregados à partículas (HAMILTON & HARDY, 1974).

Casos de ingestão acidental de cádmio, através de alimentos contaminados com este metal, já ocorreram no passado. Em áreas contaminadas a ingestão via cadeia alimentar pode atingir várias centenas de $\mu\text{g}/\text{dia}$ (WHO, 1992a).

Ainda hoje a exposição ocupacional apresenta um risco considerável à inalação acidental de cádmio, tendo em vista que grande parte do metal transportado pelo ar é respirável (GOYER, 1986), principalmente durante as operações de soldagem e fundição deste metal. Entretanto, a exposição crônica ao cádmio, via alimento ou ar do ambiente ocupacional, é a principal preocupação em relação aos riscos à saúde representados por esse metal.

A maior fonte não ocupacional de cádmio por via respiratória é o fumo (WHO, 1992^a; GOYER, 1986; ANDERSEN & HANSEN, 1982), podendo adicionar ao organismo um suplemento diário de até $4\mu\text{g}$. Um cigarro contém de 1 a $2\mu\text{g}$ do metal e 10% desse valor ($0,1$ a $0,2\mu\text{g}$) é inalável. Fumando-se um ou mais pacotes de cigarro por dia, pode-se dobrar a carga corpórea do metal (GOYER, 1986).

Através da inalação o cádmio contido no ar pode penetrar nos pulmões e circulação sangüínea. Tanto para uma única exposição como para exposição crônica, a taxa de absorção pelo sistema respiratório fica entre 10% a 40% do cádmio inalado. Um dos fatores responsáveis por essa variação está no fato de que partículas de maior diâmetro e de menor solubilidade são menos absorvidas. Para FRIBERG et al (1974) e WHO (1992a) a taxa de absorção do cádmio inalado fica em torno de 25%.

Diversas plantas têm a capacidade de retirar o cádmio do solo e através da bioacumulação transferi-lo ao homem via cadeia alimentar. A introdução de cádmio no organismo humano a partir dos alimentos, está sujeita ao aumento do teor de cádmio no solo, que resulta num acréscimo da disponibilidade do metal para as plantas (WHO, 1992b). Os fatores mais importantes que influenciam a acumulação de cádmio pelas plantas são o pH e a concentração do metal no solo. A absorção do metal é maior em solo de baixo pH (WHO, 1992b). Processos de acidificação do solo e aplicação de fertilizantes à base de fosfato, além da deposição atmosférica, são fontes significativas para a absorção de

cádmio em solos aráveis, em algumas partes do mundo. O cádmio é muito mais facilmente absorvido pelas plantas que outros metais (WHO, 1977).

A especiação do cádmio em solo, plantas, tecidos animais e gêneros alimentícios pode ter importância para a avaliação dos perigos à saúde associados com áreas de contaminação por esse metal (WHO, 1992a).

Os resultados obtidos com o estudo de diversos regimes alimentares demonstram que o cádmio é encontrado numa grande variedade de alimentos, tais como: frutas, legumes, azeites, gorduras e em concentrações nitidamente mais elevadas nas ostras, rins e fígado. No arroz e trigo de zonas poluídas pode chegar a mais de 1,0 mg/kg (WHO, 1977).

Em animais quando ocorre uma ingestão única de cádmio via oral ou parenteral, o metal se aloja rapidamente no fígado e em concentrações menores nos rins. Após decorridos até oito meses, existe uma tendência dos níveis do metal nos rins aumentar, até atingir valores maiores que os apresentados pelo fígado (WHO, 1992a). Pâncreas e baço também mostram concentrações relativamente altas (WHO, 1992a).

HUNTER & JONHSON (1982) estudaram pequenos mamíferos de locais próximos a um complexo industrial e confirmaram a acumulação de cádmio no fígado e nos rins. No fígado os níveis de cádmio estavam entre 1,5 a 280 mg/kg (peso seco) e para o rim o intervalo foi de 7,4 a 193 mg/kg. Em áreas não contaminadas os níveis encontrados no fígado estão na faixa de 0,5 a 25 mg/kg, enquanto que a concentração nos rins apresenta-se num intervalo de 1,5 a 26 mg/kg (WHO, 1992b).

Em exposição crônica de animais, ocorre o mesmo fato e quanto mais alta a intensidade de exposição nota-se que a relação de concentração de cádmio fígado/rim é cada vez maior, o que é fortemente influenciado pela rota de administração. Se a administração for cutânea, a concentração é onze vezes maior no fígado que nos rins, enquanto para administração oral a distribuição do metal é igual para os dois órgãos (WHO, 1992a).

Estudos mostram que o cádmio pode ser rapidamente absorvido pela corrente sanguínea. Inicialmente concentra-se no plasma alcançando os glóbulos vermelhos. O nível no sangue de um indivíduo adulto não sujeito à uma

exposição excessiva é, normalmente, menor que 1 µg/dl. Posteriormente, o cádmio deixa lentamente o sangue para se dirigir particularmente aos rins e fígado, onde se concentra cerca de 50 a 75 % da carga corpórea do metal (GOYER, 1986).

A excreção desse metal é normalmente baixa e sua meia vida biológica é muito longa nos músculos, rins, fígado e todo corpo humano (WHO, 1992a). No homem, embora não se conheça exatamente este dado, há indicações que a meia vida biológica do cádmio tem um valor estimativo entre 10 e 30 anos (GOYER, 1986). No entanto, com uma retenção contínua, há progressiva acumulação nos tecidos moles, particularmente rins, durante 50 a 60 anos, a partir daí a concentração começa a declinar lentamente. (GOYER, 1986).

O cádmio pode ser transferido ao feto, embora sejam baixas as concentrações do metal acumulado na placenta (WHO, 1992a).

Toxicidade aguda resultante da ingestão de concentrações relativamente altas de cádmio pode ocasionar náusea, vômito e dores abdominais. Inalação aguda pode produzir uma pneumonia química aguda e edema pulmonar (GOYER, 1986; WHO, 1992a).

A exposição crônica, a baixos teores por longo tempo, causa graves efeitos, predominantemente nos pulmões e rins, como doença obstrutiva pulmonar crônica, enfizema e doença tubular renal crônica (GOYER, 1986; WHO, 1992a). Em alta exposição ocupacional contínua, as trocas pulmonares são primeiramente caracterizadas por obstrução das vias respiratórias, progredindo para insuficiência respiratória, podendo ser fatal (WHO, 1992a).

A acumulação de cádmio no córtex renal leva à disfunção tubular renal com diminuição da reabsorção de substâncias básicas, como proteínas, glicose e aminoácidos, caracterizada pelo aumento da excreção de proteínas de baixo peso molecular pela urina (WHO, 1992a). Em alguns casos a taxa de filtração glomerular diminui, enquanto que, em casos mais graves, há uma combinação desses dois efeitos, com conseqüente aumento da creatinina no sangue. Para a maioria dos casos, a proteinúria induzida pelo cádmio é irreversível (WHO, 1992a).

Há algumas evidências que a exposição à cádmio pode contribuir para o desenvolvimento de câncer de pulmão, mas isto tem sido difícil de concluir devido a fatores de confusão (WHO, 1992a).

2.2.2 Cobre

a. Fontes e Principais Usos

O cobre ocorre naturalmente na crosta terrestre, constituindo uma grande variedade de minérios, o que resulta em diversos tipos de processos metalúrgicos (STOKINGER, 1981).

O cobre tem três propriedades distintivas e que determinam seu amplo uso: dureza, alta condutividade elétrica e toxicidade para as formas de vida mais simples (STOKINGER, 1981). Em quantidades excessivas é tóxico a uma ampla variedade de espécies aquáticas, desde bactérias até peixes. Devido à sua excelente qualidade como condutor de eletricidade é largamente empregado em equipamentos elétricos. Em função dessas características e de seus inúmeros compostos o cobre tem muitos usos industriais, tais como:

- ligas
- manufatura de fios e condutores elétricos
- galvanoplastia
- utensílios de cozinha
- tubulações residenciais e para linhas de serviço
- manufatura de moedas
- inseticida, fungicida, algicida e desinfetante
- tintas anti-incrustantes
- baterias
- eletrodos
- pigmentos

b. Fontes de Exposição Ambiental

O cobre geralmente está presente em quase todas as águas superficiais e subterrâneas (variando até 1 mg/l). Na forma de cloreto, sulfato e nitrato é muito solúvel em água, não acontecendo o mesmo quando se apresenta como carbonato, hidróxido, óxido e sulfeto. Os íons de cobre que se encontram a um pH igual ou superior a 7 em águas naturais, precipitam o carbonato e hidróxido e são, assim, removidos principalmente por sedimentação. Este é o motivo pelo qual não se encontram concentrações significativas de cobre nas águas superficiais e subterrâneas.

c. Vias de Introdução em Organismos e Toxicidade

O cobre é um elemento essencial à vida e devido à sua distribuição na natureza é normalmente encontrado em todas as dietas. Sua presença é necessária para a hematopoiese, que é a formação e o desenvolvimento das células do sangue (SCHROEDER et al, 1966; HAMILTON & HARDY, 1974; GOYER, 1986).

A deficiência de cobre é caracterizada pela hipocromia e anemia microcítica, resultante da síntese defeituosa da hemoglobina, sendo, por outro lado, fundamental para o metabolismo de várias enzimas (GOYER, 1986).

O cobre não é considerado um tóxico de efeito cumulativo como o chumbo ou o mercúrio e os seus efeitos no organismo não são unidirecionais, eles resultam dos diversos compostos de cobre e suas ações específicas, que determinam efeitos também específicos.

Para a exposição aguda por via respiratória, o pó de cobre na forma metálica parece ser o mais tóxico entre seus agentes, seguido dos sais de sulfato (GOYER, 1986) e de cloreto (STOKINGER, 1981).

Na ocorrência de efeitos crônicos em animais, o cobre leva a problemas do fígado, rins e baço (CLAYSON, 1966). Em seres humanos, a doença de Wilson tipifica a toxicidade crônica do cobre com sintomas decorrentes da excessiva acumulação do metal no fígado, rins, cérebro e córnea (GOYER, 1986), causando cirrose hepática, danos cerebrais, defeitos nos rins e deposição de cobre na córnea (STOKINGER, 1981). Cabelos e unhas contêm as maiores

quantidades de cobre, que, normalmente, em ordem decrescente se acumulam no: fígado, rins, cérebro, coração e córnea (STOKINGER, 1981).

Por via oral, praticamente mais de 99% da quantidade ingerida diariamente é excretada pelas fezes e a absorção pelo sangue ocorre sob condições de acidez do estômago, favorecida pela solubilidade (STOKINGER, 1981). No sangue o cobre encontra-se sob duas formas e, quando se atinge o equilíbrio, cerca de 93% do cobre está na proteína do soro que se liga ao cobre e 7% está ligado à frações de albumina e aminoácidos, respectivamente, regulador dos mecanismos do cobre no organismo e meio de transporte do cobre aos tecidos. O fígado recebe a maior parte deste cobre, sendo o principal órgão de armazenamento e o prepara para a excreção biliar, via fecal (STOKINGER, 1981; GOYER, 1986). A excreção média diária de cobre na urina é de aproximadamente 1,0 mg/l, sendo o restante eliminado pelas fezes.

No balanço geral, cerca de 2 a 5 mg do metal consumido é excretado para manter o balanço pelo homem, cerca de 30% é absorvido, dos quais aproximadamente 80% é excretado pela bile, ao redor de 16% retorna aos intestinos e cerca de 4% é excretado pela urina (STOKINGER, 1981).

O cobre também tem sido referido como elemento que apresenta diversos antagonismos: tem um efeito benéfico no combate à toxicidade do molibidênio (STEALY, 1944; GOYER, 1986); e é essencial para a assimilação de ferro pelo organismo (STOKINGER, 1981), sendo que a anemia causada pela deficiência de ferro na infância é, algumas vezes, resultado da falta de cobre (GOYER, 1986).

A quantidade de cobre no leite não é suficiente para manter níveis adequados do metal no fígado, pulmões e baço de recém-nascidos.

O cobre apresenta alto ponto de vaporização, cerca de 2.350°C, o que torna difícil encontrar os fumos desse metal no ambiente industrial e, conseqüentemente, as enfermidades decorrentes desta via. (HAMILTON & HARDY, 1974). Entretanto, nas atividades de fusão do minério de cobre, operações metalúrgicas e de soldagem e polimento, pode ocorrer a liberação de cobre em formas passíveis de inalação. Neste caso, o principal efeito à exposição industrial do cobre ocorre no trato respiratório superior, expressando-se como

febre ocasionada pelos vapores do metal, com mudanças atróficas nas membranas da mucosa nasal e efeitos subjetivos associados com a natureza irritativa dos vapores, pós e névoas do cobre (STOKINGER, 1981; HAMILTON & HARDY, 1974).

O carbonato de cobre é irritante para a pele e para os olhos e a exposição industrial a altos níveis de cobre pode levar a doenças que tornam incapazes os trabalhadores expostos (HAMILTON & HARDY, 1974). Dermatites de contato são menos encontradas, tendo sido relatados casos que ocorreram por exposição industrial ao bronze e contato com sacos de cobre (STOKINGER, 1981).

São bastante conhecidos os relatos de casos de contaminação de bebidas alcóolicas, onde a fonte de contaminação são os equipamentos feitos de cobre das destilarias, podendo levar à doença crônica denominada hemocromatose.

O cobre é um metal também usado em tubulações residenciais e em linhas de serviço. Segundo SHULL, em 1955 já se apresentava uma certa preocupação com relação aos efeitos do pH da água sobre a corrosão das mesmas.

Geralmente o cobre é encontrado nos tecidos dos animais e vegetais. Comumente alguns alimentos contêm mais do que 10 mg/kg de cobre e outros, como o fígado, certas verduras e ostras, apresentam um conteúdo maior, em torno de 20 a 50 mg/kg.

As necessidades diárias de cobre para um adulto são estimadas em 2 mg/l. As crianças na idade pré-escolar precisam consumir diariamente 0,1 mg/l de cobre, para terem um crescimento normal.

A ingestão diária de cobre por todas as fontes é da ordem de 2 a 5 mg, mas, em alguns casos, existem deficiências. Não obstante, elevadas concentrações de cobre podem produzir vômitos e uma ingestão oral muito prolongada pode ocasionar estragos ao fígado.

O cobre faz parte do grupo de substâncias tóxicas que bloqueiam os grupos sulfidrilos das proteínas dos tecidos. Apesar de ser essencial ao metabolismo das espécies animais, a ingestão excessiva e prolongada, pode levar à morte. As intoxicações por exposição ao cobre se manifestam como: hemorragia hepática e nefrite, dejeção de sangue, necrose centrolobular hepática. Provoca também vômito, hipotensão, icterícia e outros.

2.2.3 Cromo

a. Fontes e Principais Usos

O cromo é um metal que forma uma série especial de ligas e que, desta maneira, tornam-se muito resistente a várias soluções químicas a elevadas temperaturas e ao desgaste. O revestimento de cromo em peças é aplicado comercialmente para fins decorativos e para aumentar a resistência ao uso e à corrosão.

Os principais ramos industriais que se utilizam do cromo são:

- indústria metalúrgica
- galvanoplastia
- indústria cerâmica e de vidro
- indústria têxtil
- curtume

Outros usos comuns do cromo são:

- produção de tintas e fixador para tintas
- ligas metálicas
- produtos medicinais
- preservativos para madeira
- anticorrosivo em caldeiras e lama lubrificante
- agente oxidante em laboratório

b. Fontes de Exposição Ambiental

O cromo presente no ar ambiente tem como origem fontes industriais, particularmente da produção de ferro-cromo, refino de minérios, processos químicos, produção de refratários e queima de combustíveis fósseis, além de fábricas de cimento e incineração de resíduos (WHO, 1988; GOYER, 1986). No ar sua concentração natural é menor que $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que em águas não

contaminadas as concentrações estão na faixa de frações até poucas $\mu\text{g/l}$ (WHO, 1988).

Na maioria dos solos o cromo ocorre a baixas concentrações (de 2 a 60 mg/kg), mas valores de até 4 g/kg foram encontrados em solos não contaminados, sendo que somente uma fração está disponível para as plantas (WHO, 1988). Não é conhecido se o cromo é um nutriente essencial para plantas, no entanto, todas as plantas contém esse elemento em valores de até 0,19 mg/kg, base de peso úmido (WHO, 1988).

Esse metal, em quantidade-traço de cromo trivalente, é essencial para o metabolismo de carboidratos em mamíferos, e cofator para a ação da insulina. O cromo é nutriente essencial para o homem em quantidade de 50 a 200 $\mu\text{g/Kg}$ (WHO, 1988). A deficiência de cromo no ser humano pode ocorrer em crianças que sofrem de desnutrição calórica-protéica e em pessoas idosas com menor tolerância a glicose (GOYER, 1986).

O teor de cromo nos alimentos é baixo, e estimativa da ingestão humana diária desse metal é cerca de 100 μg , principalmente via alimentar, com pequenas quantidades via água de abastecimento e ar ambiente (GOYER, 1986).

O cromo carregado pelas chuvas é depositado nas águas e no solo, e deste é arrastado, através do escoamento superficial, para os corpos d'água, onde se deposita em forma de sedimentos (GOYER, 1986).

A concentração de cromo na água do mar é em média de 0,04 $\mu\text{g/l}$ a 0,05 $\mu\text{g/l}$, sendo, entretanto, geralmente bem inferior a 0,01 mg/l. Considera-se então que concentrações de cromo de 0,1 mg/l constituem uma ameaça ao ambiente marinho e que teores inferiores a 0,05 mg/l apresentam riscos mínimos de efeitos deletérios.

Outras fontes de cromo controláveis são os efluentes líquidos originados nos processos de galvanoplastia, têxteis e curtumes (GOYER, 1986). Em âmbito mundial, a maior parte dos efluentes líquidos de indústrias do cromo é tratada e o lodo contendo o metal é disposto em aterros, na forma de hidróxido trivalente insolúvel (WHO, 1988).

Em galvanoplastia, concentrações no ar de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ até $1,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ puderam ser observadas (WHO, 1988). Os resultados de vários estudos sugerem que a exposição ao cromo, através da inalação e de contato da pele pode apresentar riscos à saúde da população em geral, mas os dados existentes disponíveis não são conclusivos (WHO, 1988). Deste modo, não há razão para considerar que o cromo no ar represente problema de saúde, exceto sob condições de exposição industrial (WHO, 1988).

c. Vias de Introdução em Organismos e Toxicidade

Pessoas não sujeitas a exposição excessiva ao cromo, apresentam a concentração do metal no sangue da ordem de 20 a $30 \mu\text{g}/\text{l}$, distribuído igualmente entre o plasma e os eritrócitos, sendo a excreção urinária geralmente menor do que $10 \mu\text{g}/\text{dia}$ (UNDERWOOD, 1977). Por outro lado, para exposições ocupacionais, o aumento do cromo no sangue está relacionado com o aumento do metal nos glóbulos vermelhos (GOYER, 1986).

A maior parte da entrada diária de cromo no organismo (50 a $200 \mu\text{g}$) é ingerida com os alimentos na forma de cromo trivalente, da qual cerca de 0,5 a 3% é absorvida pelo organismo (WHO, 1988). A absorção gastrointestinal de 3 a 6% do total de cromo hexavalente ingerido foi relatada, sendo que a absorção intestinal do cromo hexavalente é de 3 a 5 vezes maior que a forma trivalente, mas parte dele é reduzida pelo suco gástrico. Uma vez absorvido, o cromo é quase totalmente excretado pelas vias urinárias (WHO, 1988).

A toxicidade do cromo varia com o pH, a temperatura, o organismo exposto e a valência. Em muitos casos essa toxicidade pode variar com a presença de outros compostos.

Estudos experimentais em seres humanos e animais demonstram o papel essencial do cromo trivalente para a manutenção do metabolismo da glicose (WHO, 1988).

Para águas de uso agrícola a tolerância de cromo e íons cromato varia segundo a espécie de plantas. Algumas espécies começam a sofrer efeitos adversos a concentrações de $5 \text{ mg}/\text{l}$.

A toxicidade aguda aos compostos de cromo ocorre geralmente por exposições acidentais, tentativas ocasionais de uso do cromo como agente suicida e usos terapêuticos, sendo o principal efeito agudo de sua ingestão a necrose tubular renal aguda (LANGARD & NORSETH, 1979).

Perfuração é o termo usado para referir-se às úlceras crônicas, que se desenvolvem principalmente nas mãos e nos braços de trabalhadores que manipulam bicromatos. Tais lesões podem aprofundar-se na pele, e ainda que a supuração raramente ocorra, sempre há oportunidade para infecção (HAMILTON & HARDY, 1974). Os locais mais comuns de ocorrência dessas úlceras são ao redor das unhas das mãos, superfícies expostas das juntas dos dedos, ou nas pálpebras e algumas vezes no antebraço (HAMILTON & HARDY, 1974).

GOYER (1986) afirma que, quando há exposição a compostos de cromo hexavalente, independentemente da dose, resulta em rápida reação alérgica na pele, diferentemente dos compostos de cromo trivalente, que não são irritantes nem corrosivos. Para HAMILTON & HARDY (1974), esta afirmação é um erro, porque as dermatites, que são uma das mais prevalentes e custosas doenças ocupacionais em trabalhadores de curtume, são devidas aos compostos de cromo, mais especificamente aos compostos trivalentes.

Inúmeros efeitos podem resultar da exposição ocupacional ao cromo via ar ambiente, incluindo lesões irritativas da pele e do trato respiratório superior, reações alérgicas e câncer do trato respiratório (WHO, 1988).

O pó de cromatos ou os vapores de ácido crômico ao serem inalados podem causar a irritação da mucosa nasal, com inflamação, secreção purulenta, formação de crostas e dificuldade de respirar. Úlceras podem ser formadas, as quais são crônicas e não causam dor, confinadas à porção cartilaginosa do septo, nunca causando periostites ou deformidades, mas, em estágio avançado, chegando a causar perfuração do septo (HAMILTON & HARDY, 1974). As lesões na mucosa nasal têm causado muitos problemas e já foram motivo de indenização solicitadas por trabalhadores que manipulam compostos de cromo.

O câncer do ^{intime}aparelho respiratório pode estar associado à exposição ao cromo, particularmente originado da produção de cromo ou das indústrias de pigmento à base desse metal (NORSETH, 1981; WHO, 1988). Estudos afirmam que o

grande risco de ocorrência de câncer decorrente da exposição a compostos levemente solúveis, está relacionada muito mais à forma hexavalente do que à forma trivalente do cromo, já que a primeira forma é corrosiva e causa ulceração crônica e perfuração do septo nasal (GOYER, 1986). Estudos (BIDSTRUP, 1951; BIDSTRUP & CASE, 1956) aplicados em indústrias de cromo, na Inglaterra, revelaram um risco significativo de câncer no pulmão causado pela exposição a compostos desse metal.

2.2.4 Níquel

a. Fontes e Principais Usos

Existem três tipos principais de minérios de níquel: os de sulfeto; os de silicatos e os de arsenitos, esse último não a nível comercial. O níquel forma muitos compostos, geralmente de coloração azul ou verde, das quais muitos são de interesse comercial (STOKINGER, 1981).

Os principais usos do níquel são:

- metalurgia
- matéria prima para ligas
- galvanoplastia
- baterias de níquel-cádmio
- catalizadores
- cerâmicas
- moedas
- circuitos eletrônicos
- manufatura de vidro

Grande parte do níquel é utilizada para a produção de aço inoxidável e outras ligas de níquel com alta resistência térmica e à corrosão (WHO, 1991). Ligas e chapas de níquel tem seu emprego em veículos, maquinaria, armamentos, equipamentos elétricos, ferramentas, em aplicações domésticas e manufatura de moedas (WHO, 1991).

Em galvanoplastia o níquel é utilizado em peças que necessitam de dureza, resistência ao embaçamento e superfícies polidas.

b. Fontes de Exposição Ambiental

Níquel é um metal que ocorre no solo, água, ar e na biosfera (WHO, 1991). A crosta terrestre contém uma média de cerca de 0,008% de níquel e solos agriculturáveis possuem de 3 a 1.000 mg/kg. Em águas naturais os níveis encontrados estão dentro do intervalo de 2 a 10 $\mu\text{g/l}$ para água doce e entre 0,2 a 0,7 $\mu\text{g/l}$ para água marinha (WHO, 1991). Em áreas remotas a concentração na atmosfera está entre teores menores que 0,1 e 3 ng/m^3 (WHO, 1991).

O níquel, que é emitido para o ambiente através de processos naturais e antrópicos, é circulado por todos os compartimentos ambientais através de processos físicos e químicos e é transportado biologicamente por organismos vivos.

As fontes primárias de emissão de níquel para o ambiente são: combustão de carvão e óleo para aquecimento ou geração de energia; incineração de resíduos e lodo de esgotos; mineração e produção primária de níquel; manufatura do aço; galvanoplastia; e outros (WHO, 1991).

O níquel proveniente de vários processos industriais e outras fontes estão presentes nos efluentes líquidos. Em efluentes líquidos tratados, valores contendo até 0,2 mg/l de níquel foram encontrados.

Os principais compostos de níquel presentes no ar são sulfato, óxido e sulfetos e em menor quantidade níquel metálico (WHO, 1991). A maior concentração de níquel no ar encontra-se associado às partículas menores, cujo transporte e distribuição entre os diferentes compartimentos ambientais é fortemente

influenciado pelo tamanho da partícula e pelas condições meteorológicas (WHO, 1991).

Nos rios e lagos o níquel é transportado principalmente na forma aderida à superfície das partículas e em associação com matéria orgânica.

Dependendo do tipo de solo, o níquel pode apresentar uma alta mobilidade dentro do perfil do solo e finalmente alcançar a água subterrânea e a água superficial de rios e lagos (WHO, 1991).

c. Vias de Introdução em Organismos e Toxicidade

As plantas terrestres absorvem o níquel do solo, principalmente através das raízes, em quantidade que é função de vários parâmetros geoquímicos e físicos, incluindo o tipo de solo, seu pH e umidade, o conteúdo de matéria orgânica e a quantidade de níquel disponível. Níveis de níquel acima de 50 mg/kg (peso seco) são tóxicos para muitas plantas (WHO, 1991). Bioacumulação e efeitos tóxicos foram observados em vegetais que cresceram em solos que serviam como locais de tratamento de lodo de esgoto e em vegetação próxima a fontes de emissão de níquel, enquanto que altas concentrações foram observadas em plantas aquáticas (WHO, 1991).

As concentrações de níquel nos alimentos estão, normalmente, abaixo de 0,5 mg/kg (peso úmido) e o consumo diário via alimentação, que pode sofrer variação em função dos diferentes hábitos alimentares, varia entre 100 a 800 µg/dia. Na maioria dos países a média do consumo de níquel pela dieta alimentar fica entre 100 a 300 µg/dia. O consumo de quarenta cigarros diários pode resultar numa quantidade de níquel no pulmão da ordem de 2 a 23 µg/dia. (WHO, 1991).

O níquel pode ser absorvido por seres humanos e animais via inalação, ingestão ou por via percutânea e está diretamente relacionado à solubilidade de seus compostos. A carga corpórea de níquel num indivíduo adulto, não exposto e com 70 kg de peso é de 0,5 µg (WHO, 1991).

Estudos de laboratório mostraram que o níquel tem pouca capacidade de acúmulo em todos os peixes estudados e, em águas não contaminadas, as

concentrações encontradas nos peixes estão no intervalo de 0,02 a 2 mg/kg (peso úmido), valores que poderiam ser até dez vezes mais alto em peixes oriundos de águas contaminadas (WHO, 1991).

O níquel é encontrado em muitos órgãos e tecidos de animais selvagens, devido à dieta dos animais herbívoros e seus carnívoros predadores. Entretanto, não há evidência de bioacumulação do níquel por meio da cadeia alimentar (WHO, 1991).

A exposição dérmica ao níquel é importante devido à indução e manutenção de reação alérgica produzida em indivíduos hipersensíveis causada por contato diário da pele com objetos niquelados ou ligas que contenham níquel, por exemplo: jóias, moedas, clips, e outros (WHO, 1991). Pode ocorrer, ainda, numa variada gama de trabalhos, a exposição direta ao níquel dissolvido, como em indústrias de refino e galvanoplastia ou através de manipulação de ferramentas que contenham o metal (WHO, 1991).

Implantes e próteses de ligas que contenham níquel, fluídos intravenosos ou para diálises e meios de contraste para radiografia são meios que podem veicular o níquel para o interior do organismo. Fluídos de diálise podem resultar numa introdução média intravenosa de 100 µg por tratamento (WHO, 1991).

Em todo mundo, milhões de trabalhadores estão expostos ao níquel contido em poeiras ou fumos durante processos de soldagem; galvanização, recobrimento metálico e polimento; mineração, refino de níquel; e em indústria do aço, fundições e outras indústrias que trabalham com metais (WHO, 1991).

Absorção respiratória de níquel é a maior rota de entrada durante exposição ocupacional, a qual tem seus efeitos minimizados pela significativa quantidade de material inalado retido através da remoção mucociliar do trato respiratório. O níquel é transportado pelo sangue principalmente pela albumina (WHO, 1991).

A absorção gastrointestinal do níquel é variável e dependente da composição da dieta alimentar, sendo as vias de excreção do organismo rotas potenciais para sua eliminação, incluindo urina, bile, suor, lágrimas, leite e fluido mucociliar. O níquel não absorvido pelo organismo e não excretado por essas vias é eliminado pelas fezes (WHO, 1991).

A maior acumulação de níquel ocorre nos rins, glândulas endócrinas, pulmões e fígado, quando a administração de sais de níquel é via parenteral. Por outro lado, observa-se também altas concentrações no cérebro seguida da administração de níquel carbonila (WHO, 1991).

Em termos de saúde humana, níquel carbonila é extremamente tóxico e muitos casos de toxicidade aguda se devem a este composto (GOYER, 1986). Entre seus efeitos agudos incluem-se: dor de cabeça na região frontal, vertigem, náusea, vômito, dores gástricas e no peito, seguidas de tosse, hiperpnéia, cianose, sintomas gastrointestinais e fraqueza (GOYER, 1986). Os pacientes podem apresentar ainda insônia e irritabilidade seguida por sintomas pulmonares similares àqueles de uma pneumonia viral, podendo as lesões pulmonares incluir hemorragia, edema e desordem celular (WHO, 1991). Os sintomas podem ser acompanhados de febre e leucocitose e os casos mais severos progredem à pneumonia, falência respiratória e, eventualmente, edema cerebral e morte (GOYER, 1986). O fígado, rins, glândulas adrenais, baço e cérebro podem também ser afetados (WHO, 1991; GOYER, 1986).

Efeitos crônicos como as rinites, sinusites, perfuração do septo nasal, asma, fibrose pulmonar, displasia nasal, tem sido relatados por exposição de trabalhadores via inalação (WHO, 1991), além de alergia, conjuntivite, e irritação pulmonar crônica (GOYER, 1986; GOES, 1997). A hipersensibilidade por contato com níquel, por exposição ocupacional ou da população em geral a compostos solúveis do metal, resulta em eczema nas mãos e em diversas partes do corpo, mesmo que não tenha tido contato direto com o metal (WHO, 1991), além de sensação de queimação e irritações na pele (GOES, 1997).

Tem sido referido como carcinogênico, apresentando alto risco de provocar câncer do pulmão e câncer nasal (WHO, 1991), enquanto que câncer renal, gástrico, ou da próstata e sarcomas em tecidos têm sido relatados em trabalhadores envolvidos com o metal (GOES, 1997; GOYER, 1986; WHO, 1991). Acredita-se que o níquel carbonila seja o principal agente carcinogênico (GOYER, 1986). O níquel já teve sua confirmação como agente carcinogênico para o homem (GOES, 1997).

2.2.5 Zinco

a. Fontes e Principais Usos

O zinco é largamente distribuído na crosta terrestre e ocorre em pequenas quantidades em quase todas as rochas ígneas, sendo o sulfeto de zinco seu principal mineral (STOKINGER, 1981).

Entre todos os metais estruturais, o zinco é o que apresenta mais produtos e compostos comercialmente disponíveis do que qualquer outro metal, sendo o óxido de zinco seu composto mais importante, devido às suas inúmeras aplicações, tanto na indústria leve como pesada (STOKINGER, 1981).

O zinco tem muitos usos industriais, destacando-se os mais importantes em:

- recobrimento do ferro e aço
- folhas de zinco para construção
- ligas, associado a cobre, alumínio e níquel
- galvanoplastia, substituindo o cádmio
- manufatura de rayon
- lubrificantes
- plásticos
- agricultura
- soldas
- produtos químicos
- baterias
- preservativo para madeira
- fixador para tintas
- pigmento
- aditivo para borracha e altos polímeros
- inseticida
- indústria de cosméticos

b. Fontes de Exposição Ambiental

O zinco está presente no ambiente, assim como na água, no ar e em muitos gêneros alimentícios como: frutos do mar, carne bovina, grãos, laticínios, amêndoas e legumes, os quais têm alto teor de zinco (GOYER, 1986). Nos vegetais o teor do metal é baixo e o zinco aplicado no solo é absorvido por eles durante seu crescimento. O nível de zinco atmosférico tem aumentado nas áreas industriais (GOYER, 1986).

Em águas de consumo público se recomenda não ultrapassar concentrações de 5 mg/l. Existe uma grande relação entre a concentração do zinco, oxigênio dissolvido, pH, temperaturas e concentrações de cálcio e magnésio.

Na água do mar o zinco é normalmente encontrado em concentrações superiores a 0,01 mg/l, sendo que a vida marinha pode conter zinco em concentrações superiores a 1.500 mg/l. No entanto pesquisas feitas demonstram que níveis de 10 mg/l causam 50% de redução na fotossíntese em determinadas algas.

c. Vias de Introdução em Organismos e Toxicidade

Zinco é um micronutriente, atua como cofator para mais de setenta metaloenzimas e sua deficiência resulta em severas conseqüências à saúde (GOYER, 1986). É um metal-traço essencial em pequenas quantidades para mamíferos e peixes, mas em quantidades maiores torna-se tóxico aos peixes e outros organismos aquáticos.

O zinco ocorre no organismo em duas diferentes combinações de proteínas: na primeira como uma metaloenzima, na qual ele é parte integral de um importante sistema enzimático, tal como anidrase carbônica para a regulação das trocas de dióxido de carbono. Na segunda, ocorre como um complexo metal-proteína, no qual o zinco é ligado a uma proteína, que atua como seu meio de transporte mecânico no corpo (metalotioneína) (STOKINGER, 1981).

A exposição excessiva ao zinco é relativamente incomum e requer uma exposição a altos teores (GOYER, 1986). O zinco não se acumula com a exposição continuada e a quantidade do metal no organismo é equilibrada pelos

mecanismos homeostáticos que agem principalmente sobre a absorção e níveis no fígado (UNDERWOOD, 1977; SANSTEAD, 1981; PRASAD, 1983).

A média americana de entrada diária de zinco no organismo é aproximadamente 12 a 15 mg, principalmente via alimentar (GOYER, 1986). Cerca de 20 a 30% do zinco ingerido é absorvido, considerando-se o mecanismo homeostaticamente controlado (DAVIES, 1980). Dentro das células da mucosa, o zinco induz a síntese de metalotioneína e, quando saturadas, podem diminuir a atividade de absorção do zinco. No sangue, cerca de 2/3 do metal é ligado à albumina e grande parte do restante é complexado com B2-microglobina (GOYER, 1986). O zinco entra no trato gastrointestinal como um componente da metalotioneína secretada pelas glândulas salivares, mucosa intestinal, pâncreas e fígado. (GOYER, 1986). Cerca de 2 g de zinco é filtrado pelos rins diariamente, e cerca de 300 a 600 µg/dia é realmente excretado por adultos normais (GOYER, 1986).

Sais de zinco de ácidos fortes são adstringentes, corrosivos para a pele e irritantes para o trato gastrointestinal e, quando ingeridos, atuam como eméticos. No entanto o íon de zinco é muito pouco absorvido para induzir intoxicação sistêmica aguda. Após grande quantidade ter sido ingerida, pode ocorrer um colapso fatal como um resultado de sérios danos às membranas das mucosas da boca e gastroentéricas (STOKINGER, 1981)

A concentração de zinco nos tecidos varia grandemente, sendo que os maiores teores são encontrados na próstata, provavelmente relacionado ao rico conteúdo das enzimas da fosfatase ácida que contém zinco (GOYER, 1986). O fígado recebe cerca de até 40% de uma dose-traço, declinando para cerca de 25% dentro de cinco dias, sendo a concentração nesse órgão influenciada por fatores hormonais (GOYER, 1986). O nível normal de zinco no plasma está entre 85 a 110 µg/dl (GOYER, 1986). A deficiência de zinco pode agravar a nutrição pobre em ferro e, naturalmente as interações com cádmio e chumbo podem modificar a toxicidade desses metais (SANSTEAD, 1981).

Em relação à exposição industrial, o efeito mais significativo é a febre conhecida como febre de fumos metálicos, resultante da inalação de fumos de zinco recém formados (STOKINGER, 1981; GOYER, 1986). Esta febre é mais comumente associada à inalação dos fumos de óxido de zinco, mas que pode decorrer

também da inalação de fumos de outros metais, tais como cobre, magnésio e ferro (GOYER, 1986). Uma vez que o zinco é necessário ao metabolismo humano, a probabilidade de riscos ocupacionais é reduzida (GOYER, 1986), sendo as atividades de fusão do metal, que resulta na formação do óxido de zinco em pó e a fundição de latão as responsáveis pela maioria das ocorrências de efeitos tóxicos por esse metal (HAMILTON & HARDY, 1974).

Quanto à exposição crônica, o sal de zinco que causa problemas de exposição industrial é o cloreto, por ser cáustico e devido ao modo como é utilizado (HAMILTON & HARDY, 1974). Este composto é muito empregado como fundente em soldagem, podendo produzir respingos de gotículas as quais podem atingir os olhos ou a pele da face e mãos e causar queimaduras dolorosas (HAMILTON & HARDY, 1974).

A presença de outros metais associados com o zinco muitas vezes pode causar problemas, que em alguns casos são atribuídos ao zinco, por exemplo arsênio, cádmio, manganês e chumbo e possivelmente cobre e prata (STOKINGER, 1981).

2.3 A Indústria Galvanotécnica como Fonte de Emissão de Metais Pesados ao Ambiente

A galvanoplastia caracteriza-se por se constituir num processo de revestimento de superfícies metálicas, plásticas ou de borracha com películas de metal, através de processos químicos e eletrolíticos, cuja finalidade é a proteção de certos metais contra a ação corrosiva e a ferrugem, o aumento da espessura de certas peças, a melhoria da resistência mecânica, a redução da resistência ao contato elétrico, a constituição de uma base para as operações de soldagem, o provimento de isolamento elétrico, o aumento da durabilidade e o embelezamento (BURGESS, 1995).

De acordo com classificação existente (CETESB, 1990), as empresas de galvanoplastia dividem-se em três segmentos: grandes indústrias cativas, pequenas indústrias cativas e indústrias de serviços.

As grandes e pequenas indústrias cativas diferenciam-se pelas dimensões, produção, consumo de matérias primas e pelo tipo de produtos fabricados. As grandes empresas cativas são, por exemplo, do tipo automobilístico e produtoras de utensílios, enquanto que exemplificam as pequenas indústrias cativas as fábricas de máquinas operatrizes e as fábricas de bijouterias. O terceiro segmento, as indústrias de serviços, prestam serviços a terceiros, à base de contratos, e devem estar preparadas para servir a uma grande variedade de indústrias.

As galvanoplastias têm importante papel no contexto da economia de um país, tanto pela diversidade de aplicação de seus produtos como pelos aspectos sociais a elas relacionados, já que são responsáveis por grandes contingentes de mão-de-obra empregados. No entanto, é necessário especial atenção aos seus efluentes líquidos e resíduos sólidos industriais e aos impactos que estes podem causar ao meio ambiente, considerando-se a variedade de substâncias potencialmente tóxicas neles contida, e que, se não devidamente removidas poderão resultar em problemas ambientais e de saúde pública irreversíveis (CETESB, 1990).

Quase todo serviço galvanotécnico se processa em tanques, através de banhos ácidos, alcalinos e neutros. Para cada metal a galvanizar há um banho específico. Estes banhos são vendidos já prontos, com fórmulas patenteadas ou são preparados na própria indústria, com a finalidade de recobrir a superfície da peça com cromo (cromeação), níquel (niquelação), zinco (zincagem), e outros.

Um esquema de um sistema de galvanoplastia (BURGESS, 1995) é apresentado na Figura 4. O eletrólito consiste de um sal do metal a ser aplicado no revestimento metálico de uma peça dissolvido em água. Dois eletrodos energizados por uma fonte de baixa voltagem (4 a 12v) são imersos no eletrólito. O catodo é a peça a ser recoberta e o anodo tanto pode ser um eletrodo inerte como, mais freqüentemente, uma placa ou uma cesta de esferas do metal do eletrólito, a fim de manter a concentração do íon metálico no banho. Se o anodo é um eletrodo

inerte, a concentração do íon metálico no banho é mantida por adição periódica de sais metálicos no banho. Quando a energia é aplicada, os íons metálicos carregados positivamente depositam-se no catodo, ou seja, na peça a recobrir. A água é dissociada liberando hidrogênio no catodo e oxigênio no anodo. Os gases são liberados como bolhas na superfície do líquido. A densidade de corrente, expressada em amperes/m² da superfície da peça, varia dependendo da operação, ou seja, quanto mais alta a densidade de corrente, maior a taxa de liberação de gás. Além do sal contendo o íon metálico, o banho galvânico pode conter produtos químicos para ajustar a condutividade elétrica do banho, aditivos que determinam o tipo de deposição galvânica desejado e uma solução tampão para controle do pH.

Figura 4 - Esquema de sistema convencional de galvanoplastia

Fonte: BURGESS, 1995

Antes do recobrimento, as peças devem ser submetidas à limpeza e suas superfícies devem ser tratadas, o que divide o processo industrial galvanotécnico basicamente em duas etapas:

- limpeza da peça
- aplicação da camada metálica propriamente dita

A primeira etapa consiste na limpeza da peça, por via úmida, para a eliminação de óxidos, carepa, óleos e graxas e resíduos em geral, resultantes da etapa de fabricação das mesmas ou de oxidações químicas ocorridas durante o período de seu armazenamento. Inclui um tratamento da peça a fim de permitir a perfeita deposição das camadas galvânicas, sendo subdividida em duas outras etapas: desengraxe e decapagem, conforme apresentado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Usos e matérias primas empregadas nas etapas de limpeza de peças

Operação	Finalidade	Matérias primas
Desengraxe	Eliminar óleos e graxas da superfície da peça	<ul style="list-style-type: none">• Solventes orgânicos• Sais e detergentes• Soluções alcalinas• Solventes e umectantes
Decapagem	Remover a camada oxidada da peça	<ul style="list-style-type: none">• Ácidos: sulfúrico, clorídrico, nítrico, fluorídrico e fosfórico• Alcalis: hidróxido de sódio

Fonte: Tratamento de Resíduos Líquidos da Pequena Indústria - Galvanoplastias, CETESB, 1985

Preparada a superfície, a peça está apta a receber a camada de revestimento, a qual varia conforme a função a que se destina. Os recobrimentos mais comumente utilizados incluem os metais: cádmio, cobre, cromo, ouro, níquel, prata e suas ligas. Nas galvanoplastias nacionais os revestimentos mais utilizados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Metais, usos e matérias primas empregadas no revestimento de peças

Metal	Finalidade	Matérias primas
Cádmio	<ul style="list-style-type: none">• Resistência à corrosão• Embelezamento da peça	<ul style="list-style-type: none">• Óxido ou cianeto de cádmio em cianeto de sódio
Cobre	<ul style="list-style-type: none">• Embelezamento da peça• Base para cromeação	<ul style="list-style-type: none">• Sulfato de cobre• Ácido sulfúrico• Tiouréia e umectantes• Fluorborato de cobre• Ácido Borofluorídrico• Ácido Bórico• Cianeto de sódio• Cianeto de cobre• Bissulfito de sódio• Carbonato de sódio• Tartarato de sódio e potássio
Cromo	<ul style="list-style-type: none">• Dureza e resistência ao desgaste• Embelezamento da peça	<ul style="list-style-type: none">• Ácido sulfúrico• Anidrido do ácido crômico
Níquel	<ul style="list-style-type: none">• Proteção à peça, além de proporcionar uma base para cromeação	<ul style="list-style-type: none">• Sulfato de níquel• Cloreto de níquel• Sulfamato de níquel• Sais de amônia
Zinco	<ul style="list-style-type: none">• Resistência à corrosão• Embelezamento da peça	<ul style="list-style-type: none">• Sulfato de zinco• Cloreto de zinco• Sulfato alcalino• Ácido bórico• Sais de alumínio• Cloretos de zinco, sódio e alumínio• Óxidos ou cianeto de zinco• Cianeto de sódio• Hidróxido de sódio

Fonte: Tratamento de Resíduos Líquidos da Pequena Indústria - Galvanoplastias, CETESB, 1985

Em galvanoplastia, quando se trabalha com banhos de cádmio, cromo, níquel e zinco, por exemplo, a emissão ou mesmo o descarte de agentes químicos ocorre nos três estados físicos da matéria: o sólido, o líquido e o gasoso. Dado o grande número de variáveis que envolvem o sistema, a identificação e quantificação dos produtos químicos decorrentes dos processos podem resultar em inúmeros e imprevisíveis produtos.

Para a atmosfera são emitidos gases, vapores, poeiras (proveniente do polimento de peças, por exemplo) e névoas (partículas líquidas

produzidas a partir da ação de bolhas de ar emitidas pelos banhos ácidos e alcalinos).

Os efluentes líquidos contaminados provenientes do processo produtivo originam-se de uma série de operações que envolvem as etapas de preparo e recobrimento das peças, sendo esta última a maior responsável pela geração de efluentes líquidos. Nesta etapa, as peças que sofreram o recobrimento metálico são içadas do banho eletrolítico e passam por lavagens sucessivas para a retirada do líquido do banho nelas aderido.

Os banhos eletrolíticos, por sua vez, são esporadicamente descartados quando reduzem a eficiência do processo. Estes banhos descartados, embora representem volume bem inferior ao volume das águas de lavagem, exigem cuidados especiais em sua coleta, tratamento e descarga ao ambiente, pois são bem mais concentrados que aquelas. Dependendo da origem do banho, as águas de lavagem são encaminhadas para tanques específicos de tratamento de efluentes líquidos.

O arraste de sais tem origem nas diversas etapas de recobrimento das superfícies metálicas, não somente durante a lavagem de peças. São cinco os pontos principais que contribuem para os efluentes líquidos finais de uma galvanoplastia (CETESB, 1990):

- extravasamentos dos tanques de preparação e lavagem das superfícies metálicas das peças (desengraxe e decapagem);
- extravasamentos dos tanques de lavagem das peças retiradas dos banhos eletrolíticos, ácidos e alcalinos;
- descargas de fundo dos tanques para a renovação completa dos banhos eletrolíticos, após semanas ou meses de utilização;
- respingos das peças em sua passagem pelos tanques eletrolíticos ou por ocasião da transferência de uma unidade para outra;
- vazamentos de tanques e canalizações.

Para fim de segregação e tratamento posterior, os efluentes líquidos podem ser classificados basicamente em quatro categorias (CETESB, 1990):

- despejos ácidos contendo cromo;
- despejos ácidos isentos de cromo, mas contendo outros metais;
- despejos alcalinos contendo cianeto;
- despejos alcalinos isentos de cianeto

Os despejos ácidos, normalmente, provêm de soluções de ácidos sulfúrico, clorídrico, nítrico e fluorídrico, além dos respectivos sais e dos banhos eletrolíticos necessariamente ácidos. Frequentemente o pH destes despejos encontra-se abaixo do valor 2 (CETESB, 1990).

Os efluentes predominantemente alcalinos provêm, comumente, de sais de sódio, zinco, potássio, hidróxidos de sódio e potássio, de emulsionantes orgânicos e de detergentes sintéticos, nos quais o pH atinge valores acima de 10 (CETESB, 1990). Além destes, há também os despejos provenientes dos tanques com soluções desengraxantes, podendo conter tricloroetileno e percloroetileno.

O volume de efluentes líquidos gerados pelos extravasamentos é função do maior ou menor cuidado envolvido na manipulação das peças, na colocação dos reagentes nos vários tanques existentes no processamento e no sistema de lavagem empregado (lavagem simples, contrafluxo, dupla, tripla, e outros).

O arraste de líquidos depende da quantidade, tamanho e formato das peças, da concentração e temperatura dos banhos, da posição das peças no suporte, do tempo concedido para o escoamento da solução após a retirada das peças do banho e outros.

As indústrias com operação manual apresentam maior arraste de líquidos de lavagem, o mesmo ocorrendo no processamento de peças grandes. O teor final de sais no efluente industrial será função do modo de operação nos diferentes processos e inversamente proporcional à qualidade da operação e do tratamento de seus efluentes.

A tecnologia para tratamento dos efluentes líquidos de galvanoplastia é bem desenvolvida e conhecida, sendo o tratamento convencional utilizado para estes efluentes do tipo físico-químico, objetivando: a sua neutralização, a oxidação de cianetos, a redução de cromatos, a precipitação dos metais presentes no efluente, a remoção do lodo gerado e a retirada de óleos e graxas.

Por este motivo, os efluentes líquidos contendo cianeto e cromo devem necessariamente ser segregados, podendo, após tratamento específico, ser encaminhados para tratamento conjunto com os demais despejos. Este tratamento conjunto constará de ajuste de pH em diferentes faixas para a precipitação dos metais presentes. Para a neutralização dos efluentes e a precipitação dos metais pesados são utilizadas soluções de soda cáustica ou água de cal.

Processos alternativos para tratamento de efluentes galvânicos têm sido desenvolvidos para minimizar os problemas encontrados no tratamento convencional destes despejos. Determinados problemas podem surgir porque muitos destes despejos contêm compostos que interagem com os metais dissolvidos e interferem em sua precipitação, combinando com o íon do metal dissolvido para formar um íon complexo que é relativamente solúvel em soluções neutras ou levemente alcalinas (CETESB, 1990). São exemplos de compostos intervenientes: os hidróxidos metálicos, a amônia, os fosfatos, o tartarato, o ácido etileno diamina tetracético - EDTA, produtos comumente utilizados nas operações de revestimento metálico e conseqüentemente encontrados em seus despejos (CETESB, 1990).

Os banhos, com o uso prolongado, geralmente precipitam uma borra galvânica, que é sólida e removida por eventuais filtrações. Os efluentes líquidos, quando tratados, também precipitam sólidos que devem ser tratados e encaminhados para disposição final.

O lodo ou lama galvânica resultante nas estações de tratamento dos efluentes líquidos galvânicos apresenta consistência pastosa ou semi-sólida, podendo conter até 25% em peso do total de sólidos presentes, dependendo da quantidade de agente neutralizante e/ou floculante empregado para a precipitação química.

Quanto maior a quantidade e variedade de metais presentes no despejo, maior será o volume de lodo gerado no tratamento. No entanto, o volume é função de fatores como (CETESB, 1990):

- concentração de metais pesados e de outros sólidos dissolvidos no efluente, que são precipitados no tratamento;
- volume e qualidade da água utilizada no processo industrial;
- processo de tratamento e tipos de reagentes empregados.

Os custos de tratamento, transporte e disposição final do lodo galvânico são diretamente proporcionais ao seu volume, sendo a redução do volume do lodo um fator importante, tornando-se fundamental o emprego de procedimentos como o adensamento e a desidratação (CETESB, 1990). O adensamento é empregado para aumentar o conteúdo de sólidos do lodo removendo uma porção da fração líquida, normalmente executado por meios físicos, em decantadores ou em centrífugas. Os métodos de desidratação podem elevar a concentração de sólidos numa lama galvânica de 10 a 50% em peso, em função do equipamento utilizado e das características da mesma (CETESB, 1990), envolvendo métodos naturais como leitos de secagem e lagoas de lodo ou métodos mecânicos como filtração à vácuo, centrifugação ou filtro prensa.

Os métodos naturais, principalmente os leitos de secagem, por seu baixo custo e operação e manutenção simples, são os mais empregados no país. No entanto, necessitam de grandes áreas para instalação e não apresentam eficiência muito grande (CETESB, 1990), principalmente em regiões muito úmidas ou de elevados índices pluviométricos.

Os lodos gerados, mesmo depois de desidratados, não devem ser dispostos inadequadamente, pois em condições favoráveis (contato com águas pluviais ácidas ou percolados de aterros sanitários com caráter ácido) voltam a liberar os metais pesados de sua massa para o ambiente. A solução mais apropriada seria o encaminhamento para aterros industriais que pudessem recebê-los, o que vai depender do teor de líquidos livres e da concentração de metais presentes em sua composição. Se, dessa forma, não puderem ser dispostos sem tratamento prévio, devem ser encaminhados para se proceder à solidificação ou ao

encapsulamento, anteriormente à sua colocação nos referidos aterros industriais, já que estes lodos são classificados como resíduos sólidos perigosos - Classe I, devendo, portanto, receber tratamento e disposição final controlados.

2.4 Procedimentos Utilizados para Controle Ambiental e para Comunicação de Riscos à Saúde

2.4.1 Procedimentos de Controle de Fontes Geradoras de Poluição por parte do Órgão Estadual de Meio Ambiente

Os padrões de qualidade ambiental utilizados para aferir emissões de contaminantes lançados no ambiente pelos processos industriais fundamentam-se em parâmetros técnicos e científicos, referendados pela comunidade técnica e acadêmica no campo do conhecimento humano. A legislação e normas ambientais vigentes no país, que subsidiam a ação dos organismos fiscalizadores a nível local, incorporam tais referenciais.

Os fundamentos teóricos que embasam os procedimentos técnicos e operacionais adotados no controle ambiental das fontes geradoras de poluição, o qual é efetuado com base nos padrões de qualidade ambiental, são consignados em leis, normas e procedimentos. As citações bibliográficas referentes à literatura técnica e científica que subsidiam essa fundamentação não foram descritas na presente investigação. Entendeu-se que, além de representarem um conjunto extenso de referências bibliográficas, a legislação e normativa ambientais e os procedimentos técnicos constituem-se em instrumento de trabalho de uso corrente nos meios profissionais e técnicos envolvidos com a questão ambiental.

Entretanto, deve-se observar que a assimilação desses referenciais pela pesquisadora resultou de sua formação teórica anterior e experiência profissional, constituindo um paradigma teórico que contribuiu para orientar o processo investigativo.

2.4.2 Procedimentos para Comunicação de Risco à Saúde da Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR

A perspectiva da pesquisa não se limitava a estudar o lançamento de efluentes líquidos e resíduos industriais no ambiente, balisando aos padrões de qualidade que embasam o controle ambiental desses poluentes. Buscava-se relacionar os despejos industriais aos impactos ambientais decorrentes e seus efeitos à saúde. Para tanto, procedeu-se a uma busca na literatura técnica com esse enfoque. Foram identificados os procedimentos empregados pela Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR, dos EUA, dentre os quais inclui-se a avaliação de riscos à saúde pela exposição a resíduos perigosos, apresentada a seguir. Os procedimentos da ATSDR subsidiaram teoricamente a construção de um modelo conceitual para a investigação realizada em campo, especialmente na elaboração de roteiros para levantamentos locais imediatos em consonância aos chamados “métodos de investigação rápida” (ADORNO, 1994), conforme apresentado na metodologia.

A ATSDR foi criada para instrumentalizar as seções relacionadas com saúde pública do Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability ACT - CERCLA, de 1980. O CERCLA refere-se a uma legislação ambiental de caráter compensatório, que atribui responsabilidade sobre os danos causados pela disposição inadequada de resíduos perigosos e de prevenção de efeitos futuros.

Esta agência atua no desenvolvimento de atividades de saúde pública especificamente associadas com a exposição, real ou potencial, a agentes perigosos emitidos ao ambiente (ASTDR, 1992), priorizando a proteção à saúde pública. Esta atuação é elaborada através de ações que mitiguem ou previnam os efeitos adversos à saúde e que ocasionam a redução da qualidade de vida, como resultado de exposição a substâncias perigosas no ambiente.

A ATSDR tem três procedimentos para comunicar a preocupação sobre o potencial que tem uma área de causar efeitos adversos à saúde (ASTDR, 1992):

- a Notificação de Saúde Pública;
- a Avaliação de Saúde;
- a Consultoria de Saúde

A Notificação de Saúde Pública da ATSDR é uma comunicação que deve ser levada pelo agente local da ATSDR ao administrador da Environmental Protection Agency - EPA. Essa Notificação estabelece a preocupação quanto à existência de uma ameaça à saúde pública, cuja importância e magnitude devem suscitar perante a EPA a necessidade de uma intervenção imediata.

A Avaliação de Saúde da ATSDR é uma análise e uma exposição das implicações à saúde pública concernentes ao serviço público. Trata-se de uma avaliação da informação ambiental pertinente, dos dados sobre os efeitos à saúde e das preocupações da comunidade associadas com a área onde estão sendo liberadas substâncias perigosas. Esta avaliação tem como resultado a identificação das populações que vivem ou trabalham no local ou em seu entorno, para as quais se indicam estudos ou ações de saúde pública mais aprofundados.

A Consultoria de Saúde é um instrumento que proporciona assessorias sobre aspectos específicos de saúde pública que ocorrem como resultado da exposição humana, atual ou potencial, a materiais perigosos. Normalmente, ela é uma resposta a uma pergunta ou solicitação de informação sobre uma substância perigosa, requerendo, invariavelmente, uma resposta rápida, sendo portanto mais limitada que a Avaliação de Saúde.

Portanto, entre os três procedimentos, a Avaliação de Saúde é um dos principais instrumentos para que a ATSDR cumpra o seu papel legal, contrastando a natureza qualitativa da Avaliação de Saúde com as características quantitativas da Avaliação de Risco.

Avaliação de Saúde da ATSDR

A Avaliação de Saúde, da ATSDR, é definida legalmente como a avaliação dos dados e informações sobre a liberação de substâncias perigosas ao

ambiente, com as seguintes finalidades: avaliar qualquer impacto, atual ou futuro, sobre a saúde pública; levar a cabo assessorias de saúde ou outras recomendações; e identificar estudos e ações necessários para analisar, mitigar e prevenir os efeitos à saúde humana. Para tanto, a Avaliação de Saúde, fundamenta-se num tripé de informações: informação sobre a caracterização ambiental, que inclui dados sobre a contaminação ambiental e as rotas ambientais; dados sobre as preocupações da comunidade sobre os efeitos à saúde, que representam um componente importante de informação; e os dados sobre os efeitos à saúde, específicos para cada caso.

Este instrumento é um mecanismo utilizado para responder às preocupações comunitárias relacionadas com a exposição humana a substâncias perigosas em dada área, tendo três propósitos importantes: avaliar as implicações de saúde pública da área; enfrentar estas implicações emitindo “advertências” de saúde ou propondo recomendações, que incluem estudos ambientais ou de saúde posteriores; e identificar as populações nas quais são necessárias ações para mitigar ou prevenir efeitos adversos à saúde.

Estas avaliações levadas a cabo pela ASTDR são baseadas em diversos fatores, tais como a natureza, concentração, toxicidade e extensão da contaminação em dada área; a existência de rotas potenciais para a exposição humana; as preocupações da comunidade com sua saúde; o tamanho e a natureza da comunidade passível de exposição; a informação sobre a saúde atual e passada, pertinente e específica a esta comunidade; e qualquer outra informação disponível relevante para se determinar o potencial de risco à saúde pública.

Uma Avaliação de Saúde, conforme foi concebida, é direcionada para a comunidade associada à área em estudo, incluindo grupos de cidadãos, líderes locais e profissionais de saúde. Os dados da avaliação ficam disponíveis para revisão e comentários do público, caracterizando-se por refletir um processo interativo e dinâmico de coleta e avaliação de novas informações sobre a área em questão. Este caráter de envolvimento e participação da comunidade local não elimina sua utilização pelas agências governamentais de proteção ambiental, servindo também como instrumento para inclusão da área em estudo no cadastro nacional de áreas contaminadas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Estudar a contaminação ambiental decorrente da disposição inadequada de efluentes líquidos e resíduos sólidos industriais contendo metais pesados, em uma área previamente identificada, no município de Guararema, Região Metropolitana de São Paulo, Estado de São Paulo.

3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar os procedimentos de investigação preliminar de áreas contaminadas, baseando-se nos critérios de avaliação de saúde empregados pela ATSDR, com a finalidade de que a área suspeita seja inserida no Cadastro do Gestor de Áreas Contaminadas e que seja alvo de investigação detalhada posteriormente;
- Verificar a contaminação ambiental na área de influência da indústria, por meio de coleta e análise de amostras de água, solo, vegetação, material colhido de animais vivos e através de biópsia de animais que vieram a morrer durante o período do estudo;
- Estudar o caminhamento da contaminação ambiental originada a partir do lançamento e disposição inadequada de resíduos industriais gerados por uma galvanoplastia, identificando as vias de propagação, a área de exposição e, conseqüentemente, a população exposta ao risco da contaminação;
- Desenvolver um conjunto de recomendações para o caso em questão, que representem medidas mitigadoras dos efeitos da contaminação ambiental para a área em estudo e para a saúde da população.

4. METODOLOGIA

4.1 Referenciais Metodológicos

A metodologia utilizada para desenvolver o estudo fundamentou-se em algumas fontes e referências, conforme descrição apresentada a seguir, entendendo-se por metodologia "... o caminho do pensamento e prática exercida na abordagem da realidade ...", procedimento esse que compreende "... as concepções teóricas de abordagem, o conjunto de técnicas que possibilitam a construção da realidade e o sopro divino do potencial criativo do investigador." (MINAYO, 1995).

"Toda investigação inicia-se por um problema com uma questão, com uma dúvida ou com uma pergunta, articuladas a conhecimentos anteriores, mas que também podem demandar a criação de novos referenciais." (MINAYO, 1995). "As questões da investigação estão, portanto, relacionadas a interesses e circunstâncias socialmente condicionadas. São frutos de determinada inserção no real, nele encontrando suas razões e seus objetivos." (MINAYO, 1995).

Nesse sentido a metodologia foi construída a partir da ocorrência de uma suspeita de contaminação ambiental, causada pelo lançamento indevido de efluentes líquidos no solo e em corpos d'água e por disposição inadequada de resíduos sólidos, oriundos de uma indústria de galvanoplastia.

A suspeita partira da população local de uma comunidade, que levou o fato ao conhecimento dos órgãos fiscalizadores regionais e das autoridades judiciais, após o que houve o envolvimento da pesquisadora da instituição acadêmica com o problema, o qual representava uma ameaça a essa população. "Ou seja, nada pode ser intelectualmente um problema, se não tiver sido, em primeiro lugar, um problema da vida prática." (MINAYO, 1995).

A revisão bibliográfica, aliada aos conhecimentos técnicos anteriores acumulados ao longo da prática profissional da pesquisadora, forneceram os elementos iniciais para esboçar os aspectos que apontavam para a

existência de uma situação de risco sanitário e ambiental. Portanto, contribuíram para o delineamento preliminar do método adotado para a investigação.

Alguns estudos de áreas contaminadas levados a cabo no Brasil fundamentam-se na aplicação de metodologias e técnicas estabelecidas e empregadas por organismos internacionais para tratar aspectos relacionados a esta questão, tais como: investigação da contaminação, priorização de áreas para intervenção, avaliação de risco e outros. Outros estudos utilizam o estudo de caso como método para abordar o objeto de pesquisa, com a finalidade de aprofundar o processo de investigação. O estudo de caso revelou-se como o procedimento mais adequado frente às características do problema, sua complexidade e abrangência, que demandavam, a partir de uma abordagem exploratória do problema, estudos seqüenciais e complementares para abarcar a totalidade da questão.

Do Estudo de Caso

Enquanto "... parâmetro para caminhar no conhecimento ..." (MINAYO, 1995), o estudo de caso pode ser caracterizado como um método de investigação que desenvolve um estudo em profundidade de casos particulares, ou seja, o estudo de caso busca atingir a totalidade de uma realidade a partir de informações bastante numerosas e detalhadas (BRUYNE, 1982).

O estudo de caso pode ser definido também como uma categoria de pesquisa cujo objeto é uma unidade que se analisa aprofundadamente, no qual "... nem as hipóteses nem os esquemas de inquisição estão previamente estabelecidos, a complexidade do exame aumenta à medida que se aprofunda no assunto." (TRIVIÑOS, 1995).

Segundo PATTON (1989) há certos tipos de perguntas que são melhor respondidas através da análise de casos, envolvendo esta análise a organização dos dados por itens específicos, o que permite um aprofundamento do estudo de cada um deles. Para o autor, o enfoque do estudo de caso como recurso da análise qualitativa é um modo específico de coletar dados, organizar dados e

analisar dados, no qual o objetivo é reunir informações de forma abrangente, sistemática e em profundidade sobre cada caso de interesse. Os dados do estudo de caso, para este autor, consistem em todas as informações que podem ser reunidas sobre o particular caso em questão, incluindo os dados de entrevistas, dados observados, dados documentados, impressões e declarações das pessoas envolvidas e dados obtidos ao longo do tempo, que podem representar um grande acúmulo de informações.

“Estudo de caso é um bom exemplo de como múltiplas fontes de dados podem ser justapostas para construir um quadro compreensivo ... legível, descritivo ... de um caso particular. ... apresenta um retrato holístico de uma realidade”. (PATTON, 1989).

No presente estudo optou-se pelo estudo de caso frente à necessidade de apreender, exaustiva e detalhadamente, a realidade pesquisada, com vistas à necessidade de utilizar diferentes fontes para comprovar a existência e identificar os efeitos da contaminação ambiental. As referências teóricas que fundamentaram a adoção do estudo de caso como método para a investigação também orientaram os procedimentos utilizados nesse estudo: coleta de informações preliminares; coleta e análise de amostras, avaliação dos resultados do estudo e caracterização da contaminação e da exposição da população.

Para aferir a validade e consistência dos dados da pesquisa e a coerência entre eles, adotou-se, como recurso metodológico, a utilização de técnicas e procedimentos multi-diferenciados para empreender a investigação. A utilização de técnicas de triangulação para coletar os dados teve a finalidade de captar a pluralidade de situações que constantemente se inter cruzavam na realidade em estudo, produzindo resultados muito dinâmicos. A adoção desse recurso pode ser fundamentada a partir da exposição de HAGUETTE (1987) sobre o uso de metodologias qualitativas para a investigação social: “ Acreditamos que tanto as estruturas quanto os microprocessos de ação social devem ser conhecidos, analisados e interpretados, cabendo a cada um a metodologia apropriada, a metodologia que melhor se adequa ao problema que se deseja investigar”.

Portanto, utilizou-se, a partir desse referencial, a triangulação das informações, conforme descrito a seguir.

Dos Métodos Qualitativos e a Triangulação de Informações

As referências à utilização de métodos qualitativos de pesquisa já vêm sendo largamente incorporadas pela área da saúde pública, embora a validade de seus resultados também venha se colocando como uma questão em discussão. Ressaltando que a oposição entre técnicas quantitativas e qualitativas é uma questão falaciosa, ADORNO (1994) observa a singularidade presente em cada uma destas técnicas e MINAYO & SANCHES (1993) destacam a pertinência da complementaridade das duas abordagens metodológicas na construção do desenho da pesquisa.

A discussão sobre o emprego do método qualitativo nas ciências sociais e na saúde pública vem sendo retomada com o uso do termo “triangulação”, tendo como pano de fundo o embate entre a dimensão empírica e a dimensão interpretativa de uma determinada realidade. “A triangulação, como recomendação metodológica, em termos formais prescreve que a utilização de multimeios garantiria uma maior validade aos dados” (ADORNO, 1994). Com o uso da triangulação como recomendação metodológica, busca-se a compensação de um método pelo outro, a aferição de uma técnica pela outra, a sobreposição de uma análise unidimensional, elaborada em índices da realidade, a uma análise multidimensional, construída na perspectiva do contexto e da opção interpretativa (ADORNO, 1994).

A utilização da triangulação e o uso de diferentes meios para realizar investigações propiciam uma discussão sobre os estudos epidemiológicos e a retomada de estudos de caso, em que predominam os aspectos descritivos (ADORNO, 1994). A reflexão de Adorno referendou a adoção do estudo de caso para a realização da pesquisa, conforme já exposto e a triangulação de informações como procedimento metodológico para a validação dos dados e controle da subjetividade.

4.2 Caracterização dos Procedimentos da Investigação

Os procedimentos metodológicos adotados na avaliação do episódio de contaminação ambiental em estudo consistiram nas seguintes etapas: coleta de informações preliminares; coleta de amostras, métodos analíticos empregados e interpretação dos resultados obtidos; e caracterização da contaminação e da exposição da população humana e animal.

4.2.1 Coleta de Informações Preliminares

Nesta etapa foram coletadas informações sobre a área, a partir de dados primários e secundários. Foi efetuado também um levantamento domiciliar exploratório com o uso de técnicas de estimativa rápida para avaliar o potencial de exposição à contaminação e direcionar o processo de coleta de informações em curso.

A coleta de informações preliminares constou do desenvolvimento das seguintes atividades:

- levantamento das informações disponíveis sobre a área;
- levantamento do caminhamento das águas superficiais e subterrâneas na região;
- identificação do potencial de exposição;
- inquérito domiciliar;
- definição da estratégia de coleta de amostras.

a. Levantamento das informações disponíveis sobre a área

O levantamento das informações disponíveis sobre a área partiu da análise dos documentos integrantes do processo judicial e das informações contidas nos processos de controle da CETESB para a indústria em questão, tanto na matriz (Pinheiros) como na regional (Mogi das Cruzes). Os dados sobre a área física da indústria, datas significativas de sua história e informações sobre o

processamento industrial, sua operação e controle, bem como as formas de manuseio, acondicionamento, armazenamento e disposição final dos efluentes líquidos e resíduos sólidos resultantes, foram conseguidos junto aos responsáveis pela empresa.

Mapas e fotografias aéreas possibilitaram uma caracterização física da área em estudo e auxiliaram na visualização dos usos e ocupação do espaço, tendo sido provenientes do levantamento aerofotogramétrico realizado em sobrevôo de 1980 e na escala 1:35.000. O estudo dessas peças possibilitou a caracterização do uso e ocupação do solo na região, a identificação dos elementos físicos naturais e aspectos topográficos e a locação, em planta, de pontos e espaços importantes para o estudo do caso.

Entrevistas com indivíduos da população local e ex-funcionários da indústria trouxeram informações não oficiais, que elucidaram aspectos pouco explorados nos documentos disponíveis.

Com a presença da pesquisadora no local, surgiram indivíduos que a procuraram espontaneamente para relatar eventos ocorridos e opinar sobre sua percepção relativa à questão. Ex-funcionários da empresa, demitidos após alguns anos de trabalho, relataram as condições internas de trabalho na empresa e incidentes que resultaram em lançamento de substâncias químicas no ambiente. Os dados assim identificados foram tomados com ressalvas, sempre considerando-se a subjetividade e o momento da fala dos atores.

b. Levantamento do caminhamento das águas superficiais e subterrâneas no local

O fluxo da água representou um dado significativo para a identificação da área de abrangência da contaminação. Considerando-se a água como um importante meio de transporte dos poluentes, buscou-se determinar o caminhamento tanto superficial, como subterrâneo das águas na região.

c. Identificação do potencial de exposição (humana e animal)

As possíveis formas de contato dos contaminantes com a população humana e animal encontrada na área em estudo que poderiam resultar em agravos à saúde, foram identificadas e analisadas considerando-se as seguintes atividades:

- identificação dos poluentes presentes na área, suas principais propriedades físicas e químicas, suas características toxicológicas e sua forma de distribuição no ambiente;
- levantamento da ocupação do espaço e uso atribuído ao solo na área investigada;
- levantamento do uso das águas superficiais e subterrâneas, dos alimentos plantados e dos animais criados na região.

d. Inquérito domiciliar

No levantamento de dados domiciliares priorizou-se a identificação da população exposta ao risco de contaminação, número de adultos, número de crianças, tempo de moradia no local, forma de suprimento de água potável, usos e tipos de tratamento dado à água e sintomas de agravos à saúde. Para tanto adotou-se a técnica de estimativa rápida para selecionar uma amostra intencional com informantes-chaves.

e. Definição da estratégia de coleta de amostras

As atividades anteriores resultaram em informações que permitiram o estabelecimento de um modelo teórico sobre possíveis vias de disseminação dos contaminantes presentes na área, identificando-se as vias de exposição da população humana e animal. Este modelo embasou a definição da estratégia de amostragem a ser empregada no caso, uma vez que elucidou os mecanismos de transporte dos poluentes e os meios pelos quais os contaminantes poderiam ingressar nos organismos atingidos.

A estratégia de amostragem considerou os diferentes compartimentos a serem amostrados, o tipo de amostra e os locais mais indicados para sua coleta. A

proposição foi efetuar uma avaliação exploratória da contaminação ambiental, partindo do pressuposto que admitia a contaminação desses compartimentos ambientais (água superficial e subterrânea, sedimentos, solo, vegetação e animais), coletando amostras e analisando a concentração dos metais pesados inerentes ao processo industrial mais significativos para o caso: cádmio, cobre, cromo, níquel e zinco.

Com o objetivo de procurar confirmar a presença de poluentes no subsolo, na área sobre e ao redor do local aterrado pela empresa, foi utilizado também a investigação por método indireto mediante técnicas geofísicas, empregando o método eletromagnético indutivo.

4.2.2 Coleta de Amostras, Métodos Analíticos Empregados e Interpretação dos Resultados Obtidos nas Análises das Amostras Coletadas

A coleta de amostras baseou-se em plano de amostragem estabelecido e seguiu procedimentos padronizados quanto ao uso de materiais, cuidados no transporte e preservação das amostras, quando necessário.

Em relação às águas superficiais, decidiu-se coletar amostras de água do Córrego das Antinhas e do Rio Parateí, respectivamente antigo e novo local de lançamento dos efluentes líquidos da indústria. Da mesma forma, o efluente líquido industrial, após sofrer tratamento, também deverá ser amostrado.

Objetivando-se avaliar a infiltração dos poluentes no solo, resolveu-se coletar e analisar a água subterrânea, em pontos estrategicamente selecionados, à profundidade de 0,40 m e 1,00 m, em função do nível do lençol freático da área. A 0,40 m de profundidade, em alguns pontos, já se atingia a zona saturada. Estabeleceu-se que, nestes pontos de sondagem, o solo também seria amostrado e analisado.

Como o abastecimento de água da região era feito exclusivamente através dos poços freáticos residenciais, a amostragem da água de

poços próximos à indústria, situados na direção e sentido do fluxo das águas subterrâneas, integraram a campanha de amostragem.

Como a região se caracterizava por ser utilizada para a criação de animais que se abasteciam tanto da água do córrego próximo, como da vegetação natural para sua alimentação, decidiu-se coletar também amostras dessa vegetação local (capim *Brachiária*), em pontos ao longo do Córrego das Antinhas, tanto do caule, como da raiz do vegetal.

A fim de se avaliar a possível contaminação e acumulação dos poluentes em organismo animal, resolveu-se coletar amostras de material orgânico de alguns exemplares de gado para serem submetidas a exames histopatológicos, visando confirmação de diagnósticos anteriores. Com o conhecimento de que alguns metais pesados se acumulam nas vísceras, e outros no sangue e leite, além de serem excretados pela urina, as coletas foram direcionadas para esses materiais. Havendo possibilidade de depósito de metais nos ossos, estes também foram incluídos na amostragem.

Considerando-se que o lodo é um elemento armazenador de metais pesados e uma fonte potencial de recontaminação ambiental, a coleta do lodo do Córrego das Antinhas integrou a amostragem.

Para as coletas de lodo e capim, adotou-se a estratégia da amostra composta, retirando-se quatro amostras individuais próximas para constituir uma única amostra.

Tanto para a vegetação como para os animais não foram conseguidos padrões de concentrações de metais pesados que permitissem, na etapa de análise dos dados, a comparação com os resultados analíticos das amostragens locais. Portanto, partindo-se do conceito de estudo epidemiológico de caso controle, onde se tem a comparação entre teores no “branco” com os teores encontrados nas amostras locais, foi necessário definir, selecionar e amostrar o “branco”. Este recurso teve a finalidade de adotar os teores encontrados no “branco” como referência para a comparação, de forma a suprir a inexistência do padrão.

Em síntese, a campanha de amostragem proposta constou dos seguintes itens, destacando-se os meios e os locais de coleta:

- Efluente líquido - nos pontos de lançamento dos efluentes gerados pela indústria em seu processamento industrial;
- Água superficial: - do Córrego das Antinhas, no ponto onde anteriormente era efetuada a descarga dos efluentes líquidos da indústria e também à montante e à jusante deste;
 - do Rio Parateí, onde era efetuado o descarte do despejo industrial após a mudança do ponto de lançamento, à montante e à jusante deste;
- Lodo - do Córrego das Antinhas, no ponto onde anteriormente era efetuada a descarga dos efluentes líquidos da indústria e também à montante e à jusante deste;
- Água subterrânea - nos poços freáticos de residências situadas dentro da área de influência da contaminação;
- Solo - superficial e à profundidades de 0,40 e 1,00 m, ao redor dos pontos de lançamento de efluentes líquidos e em determinados pontos no entorno do aterro;
- Vegetação - em raiz e caule de capim Brachiária, no ponto onde anteriormente era efetuado o lançamento dos efluentes líquidos da indústria e também à montante e à jusante deste e em vegetação semelhante de área não contaminada (branco);
- Animais - em amostra de gado vacum que utilizava a região para pastagem e em animais semelhantes, oriundos de região não contaminada (branco).

As amostras deveriam ser coletadas segundo as técnicas exigidas e em recipientes adequados sendo que, para os efluentes líquidos, a metodologia a ser utilizada para preservação e análise é a descrita no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", AWWA, 16a. edição (APHA, 1985). As análises físico-químicas para determinação das concentrações de

metais deveriam ser executadas empregando-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica com Chama.

Os métodos de análise de minerais em animais e plantas do Departamento de Ciência Animal da Universidade da Flórida, 2ª. edição, embasaram os procedimentos analíticos empregados para as amostras de vegetação e material biológico.

O método indireto que melhor se adaptava ao caso estudado era o eletromagnético indutivo, locando-se os perfis de caminhamento sobre e ao redor da área aterrada. Este método foi aplicado empregando-se os equipamentos EM 31 e EM 34, fabricados pela Geonics do Canadá.

Os resultados obtidos nas análises das amostras coletadas foram comparados aos valores padrões estabelecidos na legislação vigente ou com valores obtidos em amostras de regiões não expostas à contaminação (branco), conforme segue:

- para efluentes líquidos industriais - comparação com os valores máximos admissíveis para a concentração de metais pesados em efluentes líquidos ditados pelo Decreto Estadual nº 8.468/76;
- para águas dos rios - Padrões de Qualidade para Rios de Classe II, ditados pelo Decreto Estadual 8.468/76; e Resolução CONAMA nº 20/86;
- para água de poços freáticos - Padrões de Potabilidade estabelecidos pelo Decreto Estadual 12.486/78 (NTA-60); e Portaria nº 36 do Ministério da Saúde de 19/01/90;
- para solo - não há padrões identificados para solo e sedimentos, razão pela qual não estão discriminados;
- para vegetação - não há padrão estabelecido, portanto os resultados foram comparados com o valor de referência (branco);
- para material biológico de animal - não há padrão estabelecido, portanto os resultados foram comparados com o valor de referência (branco).

Os valores de referência para material biológico foram conseguidos amostrando-se um exemplar de gado vacum, com idade de 5 anos, de mesmo porte que os animais amostrados que fora trazido de Goiânia para engorda em fazenda no município de Santa Branca. Os aspectos considerados foram os seguintes: o animal não ter estado anteriormente próximo a indústrias; a região de Santa Branca ter características regionais similares à área em estudo; e o animal alimentar-se de capim Brachiária. Para este animal foram coletadas amostras de sangue, leite, urina, rim, fígado e pulmão.

Os valores de referência para a vegetação foram conseguidos amostrando-se raiz e caule de capim Brachiária dessa mesma fazenda situada em Santa Branca, local não sujeito à contaminação por metais pesados de processos industriais.

Os resultados referentes às análises das amostras coletadas dos diferentes compartimentos ambientais da área em estudo estão apresentados na forma de tabelas.

Em relação às tabelas do texto, sempre que contemplarem dados primários, dados coletados pela pesquisadora, não constarão a fonte. Estas tabelas referem-se a coletas efetuadas no município de Guararema, SP.

4.3 Procedimentos Utilizados para Avaliar os Resultados do Estudo

4.3.1 Identificação das Vias de Exposição

Para a identificação das vias de exposição foram levadas em consideração as características físicas do meio, a natureza dos poluentes presentes nos efluentes líquidos e nos resíduos sólidos da indústria galvanotécnica e as características das populações que habitam a área em estudo frente ao risco de contaminação.

Para os moradores das residências localizadas na área em estudo, a principal via de exposição considerada referiu-se à ingestão de água retirada dos poços freáticos, único meio de abastecimento de água no local.

Para aqueles moradores da área em estudo que eram, ao mesmo tempo, trabalhadores da indústria galvanotécnica, foi considerada uma via suplementar de exposição, ou seja, a ingestão de água dos poços foi agregada à inalação de vapores e poeiras no ambiente ocupacional.

Para os moradores dos sítios, as vias de exposição consideradas foram a ingestão de água dos poços e a ingestão de alimentos, tanto de origem vegetal como animal, plantados ou criados nos próprios sítios.

Para a população animal, gado, porcos, cabritos e cavalos criados nos sítios vizinhos, as vias de exposição consideradas no estudo foram a ingestão da água do córrego; da água dos poços, quando fornecida pelos proprietários; dos alimentos cultivados no local para engorda desses animais; e do capim do pasto, o qual sofria enchentes periódicas. Ainda para esses animais foram levadas em conta a via por contato dérmico com a água do córrego e das pastagens, quando ocorriam inundações.

O modelo teórico da exposição à contaminação ambiental da população local, fauna e flora para a área em estudo pode ser visualizado na Figura 5. Esse modelo, desenvolvido pela pesquisadora a partir do referencial teórico apresentado por BATSTONE (1989), apresenta as fontes de contaminação, os mecanismos de liberação dos contaminantes, os meios de transporte, as vias de exposição e o indivíduos expostos, nessa sequência. Foram esquematizadas todas as vias possíveis de exposição, tanto as principais, mais relevantes, como as secundárias, com menor grau de influência.

As fontes de contaminação existentes na área em estudo foram identificadas e localizadas sendo-lhes associados os principais poluentes. A partir daí foram estudadas as vias de propagação no ambiente e os possíveis agravos ambientais e humanos decorrentes, com a finalidade de caracterizar a contaminação no local de estudo.

Figura 5 - Modelo técnico desenvolvido para identificar as vias de exposição aos contaminantes presentes na área em estudo

4.3.2 Caracterização da Contaminação Ambiental e da Exposição da População Humana e Animal

Nesta etapa foram observados e localizados os compartimentos ambientais cujos resultados amostrais ultrapassaram os valores estabelecidos pelos padrões ambientais permissíveis ou extrapolaram os resultados dos testes realizados em amostras de referência (brancos).

A realização dessa etapa do estudo teve as seguintes finalidades: a identificação da população exposta; a constatação do tipo de contaminante; a identificação das vias possíveis de contaminação, ou seja, as diferentes vias que possibilitam o ingresso dos contaminantes no organismo, humano ou animal; e a identificação dos segmentos de população sujeita ao contato com os contaminantes.

Também foram investigados outros aspectos da contaminação, a saber: identificação e localização das fontes de poluição e principais poluentes; identificação das vias de propagação dos poluentes no ambiente; identificação dos possíveis agravos ambientais e à saúde humana decorrentes.

Os resultados obtidos através das diferentes amostras ambientais foram confrontados com os resultados conseguidos com o método eletromagnético indutivo.

5. O ESTUDO DE CASO

5.1 Apresentação do Problema

O presente estudo de caso trata dos impactos ambientais decorrentes da operação de processos de galvanoplastia desenvolvidos pela indústria Zincomatic - Tratamento de Metais Ltda (Foto 1) e suas implicações sobre a saúde da população vizinha às instalações industriais. A indústria em questão está localizada no Bairro Parateí, em área rural do Município de Guararema, Região do Vale do Paraíba, no eixo da Rodovia Presidente Dutra, a cerca de 60 Km da Capital do Estado de São Paulo, conforme visualizado na Figura 6. A caracterização da área em estudo está detalhada no item 5.2.

Foto 1 - Vista da indústria Zincomatic - Tratamento de Metais Ltda

No final de 1988, a indústria em questão foi alvo da proposição de uma Ação Civil Pública Ambiental, solicitada pelo Ministério Público do Estado de São Paulo-MPESP, por intermédio da Coordenação das Curadorias Especializadas de Proteção ao Meio Ambiente e da Curadoria do Meio Ambiente da Comarca de Mogi das Cruzes.

Figura 6 - Localização da área em estudo

Para embasar sua atuação, o MPESP solicitou à Universidade de São Paulo-USP a indicação, dentre seu quadro técnico, de um profissional especialista em questões ambientais, para atuar como assistente técnico do MPESP junto à perícia técnica requerida pelo processo instaurado.

O contato inicial com o caso ocorreu por ocasião da indicação da pesquisadora do presente estudo, pelo então reitor da Universidade de São Paulo, Prof. José Goldemberg, para efetuar o acompanhamento técnico às diligências periciais e emitir laudo final analítico e conclusivo sobre o comprometimento ambiental do caso estudado.

O interesse da pesquisadora e docente da universidade pela realização do acompanhamento técnico foi motivado pela possibilidade que a ação oferecia de realizar uma investigação em área contaminada, com possíveis implicações sobre a saúde da população exposta (humana e animal), situação que se apresentava como um dos primeiros casos a ser pesquisado, em âmbito nacional, de contaminação ambiental decorrente de operação industrial.

Antecedentes do Caso

No final da década de 80, as questões ambientais começavam a adquirir importância no país, aspecto que se refletiu na legislação ambiental então instituída e que possibilitou a sustentação de ações judiciais ambientais sobre o tema. Da mesma forma, podia-se perceber uma "consciência" ambiental que despontava, através da ação mais efetiva dos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente, do surgimento de diversas Organizações Não-Governamentais, do espaço que começava a ser ocupado por tais questões nos meios de comunicação e de tímidas, mas constantes, reclamações da população impactada.

A ação ambiental proposta contra a empresa havia sido impetrada referendo-se a um problema de contaminação ambiental decorrente de lançamento indevido dos efluentes líquidos e resíduos sólidos no solo e em corpos d'água receptores, com conseqüente comprometimento dos usos do espaço

circunvizinho à indústria e agravos à saúde da população ali instalada. Da mesma forma, solicitava, embasada na legislação em vigor na época *"a recomposição do meio ambiente lesado, abrangendo a descontaminação da área afetada e a instalação de equipamentos e adoção de sistemas necessários para reduzir a presença de poluentes em seus efluentes líquidos, de modo a se adequarem aos padrões de emissão e de qualidade do corpo receptor vigentes na legislação, com a finalidade de cessar as fontes da contaminação"*.

A indústria em questão, tendo se estabelecido no local no ano de 1975, com prestação de serviços a terceiros no ramo galvanotécnico, já havia sofrido diversas autuações do órgão estadual de controle ambiental, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB, resultantes das ações de fiscalização e controle desse órgão quanto à poluição ambiental. Em junho de 1984, a CETESB iniciou sua ação mais efetiva junto à empresa, autuando-a com um Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência - AIIPA. Suas ações de fiscalização e controle foram intensificadas nos anos de 1986 a 1988. Nesse período, foram encaminhadas várias advertências e aplicadas multas sucessivas de valor cumulativo por reincidência, que culminaram, em 10 de maio de 1988, além da aplicação da multa, cujo valor foi duplicado por duas vezes, com a redução do prazo de cumprimento da irregularidade autuada para apenas um dia, ao que a empresa recorreu. As autuações decorrentes da fiscalização do órgão ambiental encontram-se listadas no Anexo A1.

Uma semana após a aplicação dessa multa foi instaurada a Ação Civil Pública Ambiental com Concessão de Medida Liminar, proibindo o lançamento de efluentes líquidos em desconformidade com as normas técnicas e padrões vigentes, durante o decorrer do processo judicial.

O levantamento e a análise da documentação do Órgão Estadual de Controle Ambiental revelaram que, em julho de 1988, já como uma exigência das ações de controle do órgão ambiental e numa tentativa da empresa para reduzir seus impactos sobre o ambiente, fora cessado o lançamento dos efluentes líquidos no Córrego das Antinhas. Por sua baixa vazão e por situar-se em várzea alagável nas proximidades da empresa, o Córrego representava riscos ambientais graves. O novo ponto de lançamento escolhido foi o Rio Parateí, distante aproximadamente 500 metros da indústria, pois o mesmo apresentava

maior volume d'água e vazão suficiente para o recebimento de tais despejos líquidos.

Os laudos e documentos consultados demonstravam também que, nesse mesmo mês, a CETESB emitiu carta acolhendo o recurso e cancelando o Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Multa, aplicado dois meses antes.

A este fato sucederam-se várias inspeções do referido órgão de controle, tanto no ambiente industrial como em sua área de influência circunvizinha, nessa ocasião já acompanhadas pelo perito e pela pesquisadora como assistente técnico, vistoriando e amostrando, quando possível, o setor produtivo, as instalações de tratamento dos efluentes e resíduos gerados e os diferentes compartimentos ambientais possíveis de estarem sendo afetados pelos poluentes industriais descartados. Os resultados dessas ações indicaram continuação da poluição ambiental e resultaram, em 14 de agosto de 1989, no Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Interdição Temporária (por 15 dias), emitido pelo próprio Secretário de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, face à gravidade do problema ao que a indústria teve suas atividades paralisadas por este período.

Tal fato obrigou os responsáveis pela indústria a firmarem um compromisso com a CETESB para resolver dois problemas pendentes com o órgão ambiental: melhorar o sistema de tratamento dos efluentes industriais e solucionar o problema relativo ao fornecimento de água às residências atingidas pela contaminação do lençol freático. Para tanto, foram estabelecidos dois cronogramas de atividades. Este último estabelecia que a indústria deveria efetuar campanha de amostragem periódica (de 60 em 60 dias) nos poços freáticos residenciais da vizinhança, e fornecer água potável a todas as residências que tivessem suas águas dos poços contaminadas com os metais cádmio, cromo e zinco.

A Intervenção da Pesquisadora

O referido processo judicial era embasado por documentos técnicos, relatando anormalidades ocorridas com animais e plantações, e por notícias veiculadas pela imprensa escrita regional, denunciando a atuação suspeita da indústria e enfatizando a probabilidade de ocorrência de danos ambientais e econômicos na área.

Em entrevista exploratória inicial com sitiantes da região, constatou-se que estes alegavam ter perdido dezenas de cabeças de gado nos últimos tempos, vitimadas pela contaminação. A plantação de culturas temporárias já não atraía mais os pequenos produtores. A própria vegetação que se desenvolvia na área alagável, como o capim *Brachiária*, originário da região, apresentava, em certos pontos, coloração amarelada e, às vezes, aspecto de queimado.

Foi relatado também por pessoas da localidade, que, no passado, em período não precisado, a empresa havia sido vitimada por um acidente, em decorrência de fortes chuvas na região, o que fez desabar parte dos muros da área de produção da indústria. O acidente provocara a queda de tanques e o derrame de banhos galvânicos para o ambiente externo, fato agravado pela intensa precipitação pluviométrica na época e pela difusão dos poluentes através da várzea alagável.

Ao fundo da indústria, mas em área externa a esta, encontrava-se um terreno aterrado, que segundo informações da população, havia sido providenciado pela própria empresa, com o objetivo de recobrir a área utilizada no passado para o lançamento de seus efluentes líquidos.

Em relação a este local aterrado, sitiantes que sofreram perdas de animais que costumavam pastar nas imediações, descreviam casos de animais encontrados mortos no pasto, após se dessedentarem com água do córrego e pastarem próximo ao referido terreno aterrado. Também relatavam que diversos animais tiveram seus cascos atacados por produtos químicos, apresentando aspecto de decomposição.

Em entrevistas domiciliares efetuadas com a população exposta, moradores das residências localizadas mais próximas da indústria referiam agravos à saúde, atribuindo-os ao consumo da água dos poços freáticos dos quais se abasteciam e que acreditavam estar contaminada.

Logo abaixo do terreno aterrado encontrava-se um riacho, denominado Córrego das Antinhas, praticamente assoreado e tomado pela vegetação de capim, cuja várzea inundável constituía-se, em época de chuva, no corpo receptor dos lançamentos de efluentes líquidos e, eventualmente, de resíduos da indústria.

Portanto, todos os fatos relacionados à contaminação aqui relatados já haviam ocorrido quando se iniciou a investigação: a fiscalização da CETESB, com resultados que comprovavam o lançamento de efluentes líquidos industriais em desacordo com os padrões legais vigentes; a contaminação das águas dos poços freáticos das residências mais próximas da indústria; o acidente com a indústria, referido anteriormente; a morte de diversos animais; e a disposição de efluentes líquidos e de resíduos sólidos industriais em um terreno localizado ao fundo da indústria, posteriormente aterrado.

Em inspeção técnica de campo, em entrevista exploratória e não-estruturada com ex-trabalhadores da indústria e com moradores locais, e em consulta ao arquivo de processos industriais da CETESB e aos seus técnicos, responsáveis pelo controle ambiental, vários aspectos que representavam, em tese, indicadores da contaminação ambiental, foram sendo levantados; aos poucos, esses levantamentos revelaram informações relevantes, as quais permitiram o estabelecimento de um panorama causal que contribuiu para a caracterização da contaminação ocorrida.

Através de relatos da população e de inspeção local, constatou-se que o local do aterro servira, durante muitos anos, como área de lançamento dos efluentes líquidos da indústria diretamente no solo, sem qualquer tratamento. Posteriormente, quando os efluentes líquidos começaram a ser tratados, este local passou a ser utilizado como ponto de descarte do lodo resultante. O aterramento do local, que pode ser visualizado até hoje, fora executado de maneira a encobrir os resíduos perigosos ali depositados, com uma camada de cerca de três metros de

terra. Anteriormente ao aterramento essa área era ocupada, em seu entorno, por algumas residências, muitas das quais foram compradas pela indústria e demolidas, para dar lugar ao aterro que recobriria os resíduos industriais descartados. No entanto, cinco residências, cujos moradores não concordaram com a negociação proposta pela indústria, permaneceram no local. A paisagem, que se visualiza no limite dessas propriedades residenciais com a área aterrada, é de um amontoado de terra que vem sofrendo erosão com o passar do tempo, por onde percolam águas pluviais infiltradas no aterro, carreando os eventuais poluentes para os terrenos em nível imediatamente inferior (Foto 2).

Em decorrência da interdição temporária, ocorrida em agosto de 1989, os responsáveis pela indústria firmaram com a CETESB compromisso de suprir com água potável as residências que tiveram, comprovadamente, seus poços residenciais comprometidos pela contaminação do lençol freático, por ser a única fonte de abastecimento de água local. No entanto, essa medida foi implementada canalizando-se água do poço artesiano da empresa para apenas dezenove residências da área.

Foto 2 - Vista parcial dos fundos da indústria galvanotécnica e da área aterrada

Uma inspeção realizada em alguns sítios próximos permitiu observar a existência de bovinos com visíveis alterações orgânicas metabólicas, como porte raquítico, juntas inchadas, pelos arrepiados, diarreia, olhos lacrimejantes e, em alguns casos, cascos em processo de desintegração, sendo que, durante o decorrer da investigação, alguns animais chegaram a óbito.

O inquérito domiciliar efetuado com a finalidade de levantar dados sobre a população exposta, sobre os usos atribuídos às águas dos poços domiciliares e os sintomas referidos pelos moradores, revelou problemas de saúde que poderiam estar diretamente relacionados com os agentes contaminantes emitidos pela indústria no local.

Desfecho do Episódio

Judicialmente a indústria perdeu a ação movida pelo MPESP, tendo sido confirmado que a área em estudo havia sofrido contaminação por efluentes líquidos e resíduos sólidos industriais contendo agentes contaminantes, que o processo industrial e seus resíduos necessitavam de mecanismos de controle industrial mais efetivos e o local deveria ser alvo de ações de remediação antes de ser reutilizado em suas atividades normais. Tais recomendações nunca chegaram a ser implementadas: até o presente momento, a ação tramita em julgado no Fórum de Guararema, aguardando um encaminhamento.

Por fim, a indústria teve encerradas suas atividades produtivas em 04/03/94, constituindo-se atualmente também em área industrial desativada, o que vem a agravar o quadro de contaminação ambiental local.

Do exposto verifica-se que, embora houvesse o lançamento de efluentes em desacordo com os padrões legais exigidos, este fato por si só não levaria a causar uma contaminação de tal monta, que resultasse na morte de diversos animais, no desaparecimento da fauna aquática local e na contaminação dos poços freáticos residenciais. A magnitude dos aspectos de contaminação ambiental que se apresentavam e os questionamentos colocados pela população

afetada, intensificados pela imprensa e ONGs envolvidas, apontavam para um problema de contaminação ambiental bem mais grave do que aquele que poderia estar ocorrendo pelo simples lançamento inadequado dos efluentes líquidos industriais contendo metais pesados.

A pluma de contaminantes na água subterrânea tende a se espalhar com o passar do tempo, atingindo locais antes não afetados, ampliando a área de influência da contaminação, o que traz como consequência imediata o comprometimento da água de outros poços residenciais ainda não atingidos. Em função do acordo firmado entre a indústria e a CETESB, a empresa se comprometera a abastecer a população cujos poços haviam sido comprovadamente contaminados, conforme já citado. Com o fechamento definitivo da indústria, cessou também o fornecimento de água potável às moradias constatatadamente atingidas, agravando significativamente o risco à saúde da população local.

Atualmente a área passa por ampliação de seu núcleo residencial, verificando-se a abertura de novas ruas e o incremento de novas moradias, o que amplia o problema em termos de saúde pública.

A questão que se apresentava para investigação tratava, portanto, do estudo de área contaminada, com forte atuação de fiscalização e controle já efetuados pelas autoridades ambientais competentes, com problemas graves de saúde pública à população exposta e da tentativa de discussão de ações de remediação para a área atingida. Tais temas interessavam sobremaneira às atividades de docência e pesquisa às quais esta pesquisadora estava direcionada e se ajustavam à linha de pesquisa pretendida pelo Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

5.2 Caracterização da Área da Pesquisa e da População em Estudo

A área objeto desta pesquisa engloba, de um lado, o espaço ocupado pelas instalações da indústria Zincomatic - Tratamentos de Metais Ltda., altura do Km 181 da Rodovia Presidente Dutra, na avenida Porfírio da Paz, s/nº,

localidade de Parateí, área rural do município de Guararema, Região do Vale do Paraíba, Estado de São Paulo; e de outro, a área circunvizinha, confinada entre o Rio Parateí e a margem esquerda da rodovia, no sentido São Paulo - Rio, onde se encontra o núcleo populacional do bairro Parateí e alguns sítios distribuídos em seu entorno, conforme pode ser visualizado nas Figuras 7 e 8.

Abrangendo uma faixa estreita e plana, a área em estudo caracteriza-se por apresentar terrenos aluvionares, com várzeas parcialmente inundáveis em épocas de chuva e algumas nascentes próximas, formadoras do Córrego das Antinhas, o qual cruza a área na direção longitudinal e sentido SW para NE. Paralelo a ele, percorrendo uma das extremidades longitudinais da área corre o Rio Parateí, que recebe as águas do córrego, ao final da área em estudo.

O Córrego das Antinhas apresenta-se como uma linha d'água, de baixa vazão e quase totalmente assoreado, praticamente tomado pela vegetação de capim, cuja nascente localiza-se nas imediações, à oeste da área em estudo. Este córrego com uma extensão relativamente pequena deságua no Rio Parateí. O Parateí, por sua vez, é tributário do Rio Paraíba do Sul e ambos integram a Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, no seu início. O Rio Paraíba do Sul tem significativa importância para a região do Vale do Paraíba, inclusive como fonte de abastecimento de água de varias cidades em seu percurso, sendo um dos principais mananciais para o suprimento de água da população do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 7 - Foto aérea da área em estudo

Geologicamente a área é formada por sedimentos da Bacia de Taubaté, ou seja, areias e argilas, com concentrações de argila orgânica. Trata-se de uma região relativamente plana onde o Córrego das Antinhas ocupa o fundo de vale.

O aquífero freático existente na área apresenta-se quase aflorante, havendo locais onde, a uma profundidade de 0,40 m, já é possível encontrar a zona saturada. Em algumas casas era possível alcançar com a mão o nível da água do poço freático.

A indústria tem sua fachada voltada para a rodovia e ocupa a área de um quarteirão na sua quase totalidade, dividindo-o apenas com as instalações de um posto de venda de combustíveis e serviços automotivos. Lateralmente à indústria que se situa em um ponto mais elevado da área, partem duas ruas paralelas em declive, a Av. Parateí e a Rua Rio Branco (Foto 3). A duas quadras da indústria, a Av. Parateí cruza perpendicularmente o Córrego das Antinhas; a cerca de quatro quadras abaixo da empresa, esta avenida encontra o Rio Parateí, que emprestou seu nome à avenida e ao bairro. A Av. Parateí era a única via de circulação que cruzava o Rio Parateí, funcionando como elo de ligação com as propriedades localizadas abaixo do rio.

Foto 3 - Vista dos fundos da indústria galvanotécnica e sua localização em ponto elevado da área em estudo

5.2.1 Atividade Industrial Responsável pela Contaminação

Em inspeção de campo constatou-se que a área em estudo apresentava duas unidades industriais, a indústria galvanotécnica e uma tinturaria. A tinturaria, em função dos produtos utilizados em suas atividades industriais, não gera efluentes líquidos ou resíduos sólidos que contenham metais pesados em concentrações que podem vir a causar danos ambientais significativos. Levando-se em consideração a direção e o sentido do fluxo das águas superficiais e subterrâneas na área, a tinturaria, localizada no extremo leste da área estudada, não deveria ser considerada como possível fonte da contaminação ocorrida.

A fonte potencial da contaminação se voltava, portanto, para a indústria galvanotécnica existente na área, cujas atividades industriais foram implantadas no local no ano de 1975, caracterizando-se pela prestação de serviços técnicos à terceiros no ramo galvanotécnico e pela operação com unidades de banhos de zincagem, cadmiação, fosfatização, cromeação, estanhagem, niquelagem e cobreagem (Fotos 4 e 5).

Foto 4 - Vista parcial da linha industrial do processo de galvanoplastia

Foto 5 - Vista das condições do ambiente interno da indústria galvanotécnica

O processo industrial, com um volume total de aproximadamente 107.000 litros de banhos, era composto pelas seguintes linhas de operação, com seus respectivos volumes:

- Linha de Zinco 54.300 litros
- Linha de Cádmio 7.650 litros
- Linha de Níquel 200 litros
- Linha de Cromo Duro 35.000 litros
- Linha de Estanho 2.600 litros
- Decapagem 4.650 litros
- Desengraxe 2.300 litros

TOTAL	106.700 litros
-------	----------------

A indústria utilizava o sistema do tipo convencional para o tratamento de seus efluentes líquidos (Foto 6), que eram divididos em quatro linhas de tratamento, segundo suas características:

- 1ª.) Tratamento de cianetos: os efluentes provenientes de banhos alcalinos e cianídricos, sofrem uma oxidação química seguida de uma precipitação dos metais presentes;
- 2ª.) Tratamento de cromo: os efluentes provenientes de banhos ácidos à base de ácido crômico e cromatos, passam por redução do cromo VI para cromo III e em seguida por uma precipitação do cromo III;
- 3ª.) Tratamento de neutralização: os efluentes provenientes do setor de decapagem (ácido clorídrico) e desengraxe (hidróxido de sódio); recebem reagentes para ajuste de pH;
- 4ª.) Tratamento de efluentes provenientes dos banhos de cádmio, que são totalmente separados dos demais, por precauções técnicas, procedendo-se à recuperação de parte do cádmio presente.

Foto 6 - Vista parcial do sistema de tratamento de efluentes líquidos da indústria galvanotécnica

Após a precipitação ocorrida nas linhas de cianeto e cromo (1^a. e 2^a. linhas), os efluentes já neutralizados eram misturados entre si e com os efluentes da neutralização e da linha de cádmio (3^a e 4^a. linhas). Uma vez misturados eram submetidos a uma nova precipitação conjunta dos metais presentes e decantação num tanque receptor (cone de sedimentação).

Finalmente, os efluentes tratados ou o sobrenadante (fase líquida) passavam por uma caixa de inspeção, sendo lançados para o ambiente externo da indústria. O lodo decantado era encaminhado para leitos de secagem com a finalidade de reduzir sua umidade inicial (Foto 7). Posteriormente, eram colocados em tambores ou sacos plásticos, os quais ficavam estocados na indústria, no aguardo de uma destinação definitiva.

Foto 7 - Vista dos leitos de secagem do lodo resultante do sistema de tratamento de efluentes industriais

Os efluentes provenientes dos banhos de cádmio eram tratados separadamente dos demais, pelos seguintes motivos:

- recuperação parcial do cádmio através de eletrólise;
- diminuição do teor de cádmio na água bruta e, conseqüentemente, maior facilidade em sua precipitação e remoção;
- segregação do resíduo sólido proveniente desse tratamento, a fim de que o mesmo não contaminasse ainda mais o lodo galvânico das outras linhas.

A operação era realizada por batelada e, segundo informações dos técnicos responsáveis pelo sistema de tratamento seu o grau de eficiência era de 99.91%.

A empresa instalou-se no local em julho de 1975 e, de acordo com informações dos referidos técnicos, o lançamento dos efluentes industriais tratados seguiu a seguinte cronologia:

- até junho de 1984, eram lançados em fossas localizadas nos fundos da empresa (local da área aterrada);
- de junho de 1984, quando houve a formalização junto à CETESB, o descarte passou a ser efetuado no Córrego das Antinhas, até julho de 1988;
- de julho de 1988 até o fechamento da indústria ocorrido em 04/03/94, os efluentes líquidos foram transferidos para lançamento no Rio Parateí.

5.2.2 Uso e Ocupação do Solo no Local

O levantamento sobre o uso e ocupação do solo na área em estudo teve a finalidade de identificar as fontes potenciais de poluição existentes durante o funcionamento da indústria, para relacioná-las com as atividades realizadas naquele período e então correlacionar, as fontes de poluição e as atividades, com os riscos de danos ambientais e agravos à saúde decorrentes.

Esse levantamento foi realizado recorrendo-se à inspeção de campo e a entrevistas com os donos das pequenas propriedades, sendo o resultado locado em planta na Figura 9.

Figura 9- Uso e ocupação da área em estudo

Tangenciada pela Rodovia Presidente Dutra, principal via rodoviária de ligação do eixo Rio-São Paulo, de tráfego intenso e pesado, próxima ao trevo de cruzamento dessa rodovia com a Rodovia Airton Sena, a área em estudo comportava um posto de combustíveis, uma oficina mecânica e um restaurante, como pontos de serviços especialmente voltados para os usuários da rodovia.

Na área à esquerda da indústria de galvanoplastia, próximo à nascente do Córrego das Antinhas, havia locais de movimentação de terra e porto de extração de areia; à direita, após o córrego, encontrava-se, também uma tinturaria, desenvolvendo atividade industrial na área.

Por meio de inspeção industrial constatou-se que a área ocupada pela indústria abrangia a ala administrativa; a ala industrial (por sua vez dividida em dois pavilhões); um almoxarifado; e a área designada para os sistemas de tratamento de efluentes líquidos e secagem do lodo gerado. Numa das laterais da empresa havia uma área livre, reservada para o armazenamento dos resíduos sólidos industriais acondicionados em tambores de 200 litros (Foto 8).

Foto 8 - Vista das condições de armazenamento dos resíduos sólidos industriais no pátio da indústria

Ao redor da indústria, o núcleo populacional do bairro Parateí, constituído por residências unifamiliares, espalhava-se ao longo das poucas ruas existentes. Habitações simples, sem infra-estrutura de saneamento ambiental (água encanada, esgoto e coleta de resíduos sólidos), deixando vários terrenos vazios entre uma casa e outra, eram locadas em ruas sem pavimentação. O único meio de suprimento de água potável para a população era proveniente do subsolo, por meio do lençol freático, através de poços tipo cacimba. O esgoto sanitário era enviado para fossas sépticas domiciliares, algumas em precárias condições, o que era agravado pelo nível alto do lençol freático no local. As águas servidas eram lançadas nas sarjetas, vindo a escoar a céu aberto para o Córrego das Antinhas ou Rio Parateí. Os resíduos sólidos domiciliares dispostos em terrenos baldios próximos às moradias, de maneira inadequada, atraíam animais e contribuíam para a proliferação de vetores de importância sanitária.

No entorno da área residencial encontravam-se sítios de pequenos proprietários, cujas atividades principais eram a criação de gado bovino e culturas agrícolas temporárias. Ao longo do Córrego das Antinhas, e mesmo cobrindo seu leito, desenvolvia-se uma vegetação de capim Brachiária, originário da região.

Na ilustração da Figura 10 pode-se visualizar a área ocupada pelas edificações, a área do aterro pertencentes à empresa, a locação das residências, dispersas dentro do núcleo populacional e os demais serviços locais.

VIA DUTRA

ACOSTAMENTO

AV. PORFIRIO DA PAZ

FIGURA 10 - Detalhamento da área em estudo

5.2.3 Identificação das Populações Expostas

Não se identificaram formas de vida aquática superior no Córrego das Antinhas, curso d'água superficial que se encontra poluído, o mesmo ocorrendo no Rio Parateí, localizado um pouco mais distante da indústria, também poluído. Tal poluição era constatada visualmente, através do lançamento de esgoto sanitário do núcleo populacional e da tinturaria que despeja água de coloração forte em suas águas.

Nos sítios circunvizinhos à região da indústria havia a criação de bovinos, suínos, eqüinos e caprinos, destinados, com exceção dos eqüinos, ao abastecimento dos próprios moradores e, em alguns casos, à comercialização, tanto do leite como da carne. Por outro lado, além das pastagens, estas propriedades também possuíam áreas de cultivo para consumo próprio e para a engorda dos animais de suas propriedades, o que contribuía para aumentar a possibilidade de exposição tanto dos sitiantes quanto dos animais.

Inspeções e avaliações realizadas na área em estudo, nas adjacências da indústria, resultaram na identificação da população potencialmente exposta aos contaminantes como sendo os moradores das residências situadas no quadrante entre o Norte e o Leste geográfico, principalmente a NE da indústria e os residentes nos limites do aterro efetuado pela empresa.

A direção e o sentido (de SW para NE) do fluxo de águas subterrâneas detectado no local foram considerados como fatores para a identificação da população potencialmente exposta. As águas subterrâneas referiam-se ao principal meio de transporte dos contaminantes lixiviados, através do solo; e a ingestão constituía a principal via de exposição.

Como na região a única fonte de abastecimento de água era o lençol freático, após a identificação da população exposta, foi efetuado um levantamento domiciliar de dados sobre a população e a água utilizada, pois cada residência possuía seu poço raso.

A partir do final de 1988, conforme já exposto, a indústria foi obrigada a fornecer água potável (de seu poço artesiano) às residências que

tiveram seus poços domiciliares comprovadamente contaminados. Assim sendo, o inquérito domiciliar também verificou o cumprimento desta medida por parte da indústria e levantou os sintomas de doenças referidos pelos moradores, principalmente pelas crianças, os quais eram atribuídos ao consumo da água.

Foram selecionados trinta e uma residências integrantes do levantamento domiciliar nas quais foram levantados os seguintes dados:

- endereço do domicílio
- tempo de moradia no local, em anos
- número de pessoas residentes no domicílio
- recebimento de água da indústria
- tipo de tratamento dado à água
- uso dado à água
- sintomas de possíveis agravos à saúde
- outras observações, como o número de crianças existentes no domicílio

O resultado dos dados levantados na investigação domiciliar encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do inquérito domiciliar

ENDEREÇO	NOME	MORA/ ANOS	Nº PESSOAS	ÁGUA			SINTOMAS	OBSERVAÇÃO
				Recebe	Trata	Uso		
R. Rio Branco, 10	Laci dos Santos	10	16	Não	Cloração	geral	—	—
R. Rio Branco, 132	Antonio Franco Oliveira	20	06	06 meses	—	geral	diarreia	2 crianças
R. Rio Branco, 124	João Ponciano	13	04	06 meses	—	geral	—	1 criança
R. Rio Branco, 190	Vicente dos Santos	08	09	09 meses	filtração	geral	coceira nos braços	—
R. Rio Branco, 212	Valdir Barbosa	07	04	09 meses	filtração	geral	coceiras nas extremidades	—
R. Mato Grosso, 334	José Raimundo Machado	25	05	11 meses	filtração	geral	—	—
R. Mato Grosso, 370	Vandir Rodrigues Silva	03	06	11 meses	filtração	geral	—	4 crianças
R. Pará, 63-A	Maria Quitéria Inácio	02	10	*	—	geral	—	* recebe água do posto de gasolina
R. Pará, 63-B	Ezequiel Santana Lima	02	04	*	—	geral	coceira, dor de cabrça, vômitos, desinteria	* recebe água do posto de gasolina
R. Pará, 28	José Pereira da Silva	04	06	09 meses	—	geral	coceiras, manchas	4 crianças
R. Pará, 18	Aparecido Pires	10	12	11 meses	—	geral	coceira, formigamento nas extremidades, dor de estômago	(Antonio Pires)
R. Pará, 14	Alzira Madalena Ferreira	13	03	11 meses	—	geral	gastrite	—
R. Pará, 10	Antonio Aparício	10	10	10 meses	—	geral	coceiras, diarreia, formigamento	—
R. Pará, 6	Fidelis Elias do Amaral	05	09	10 meses	—	geral	—	—
R. Pará, 2	Geraldo Carlos Neri	14	04	09 meses	—	geral	—	—
Av. Paratei, 296	Antonio Felício Oliveira	25	08	Não	—	geral	manchas no corpo, diarreia, vômito	—
Av. Paratei, 302	Luiz Aparecido Teixeira	02	04	Não	filtração	geral	formigamento, vômito	—
Av. Paratei, 308	Antonio Jeremias Teixeira	02	02	Não	filtração	geral	—	—
Av. Paratei, 314	Luiz Carlos Souza	04	06	Não	filtração	geral	coceira irritante, formigamento	—
Av. Paratei, 320	João Carlos Macedo	03	11	Não	—	geral	—	—
Av. Paratei, 322	José de Almeida	03	07	Não	—	geral	formigamento	—
Av. Paratei, 362	Sebastião Ramos	0,5	04	Não	—	geral	—	—
Av. Paratei, 380	Anoel Agus da Silva	09	07	Não	filtração	geral	—	—
Av. Paratei, 504	Armando Carteiro	17	03	Não	—	geral	coceiras, manchas, vômito, diarreia, formigamento	—
Rua A, 525	Benedito Domingos Correa	02	11	Não	—	geral	dificuldade para urinar, tontura, formigamento	—
Rua A, 600	Natália de Souza Castro	17	07	Não	—	geral	diarreia, coceira, alergia, formigamento	3 crianças
Rua A, 637	David Borges da Silva	35	07	Não	cloração	geral	formigamento	2 crianças
Rua A, 642	Jovino Gonçalves Pimentel	35	09	Não	cloração	gerai	aiergia, rins e diarreia	2 crianças
Rua A, 645	Wilson Borges da Silva	35	10	Não	cloração	geral	formigamento, manchas	3 crianças
Rua A, s/nº	Divaldo Borges da Silva	2,5	04	Não	cloração	geral	alergia, diarreia	2 crianças
Rua B, 23	José Rodrigues de Morais	25	06	Não	cloração	geral	—	2 crianças

Deve-se considerar que os moradores locais, em grande parte (em alguns casos, mais de um elemento da mesma família), trabalhavam como empregados da indústria galvanotécnica, estando assim, duplamente expostos aos efeitos dos contaminantes; os sintomas relatados pelos entrevistados podiam também advir da exposição ocupacional, o que não foi especificado pela entrevista. (Neste caso deveriam ser excluídas as crianças, que estariam expostas somente às vias de exposição domiciliar). Portanto, os agravos à saúde referidos deveriam ser tomados como indicadores, considerando-se que muitos deles são sintomas decorrentes de contaminação por metais pesados, conforme levantados na bibliografia, mas não são dados conclusivos.

Estes resultados apontavam para a real necessidade de se prosseguir na direção de uma avaliação mais detalhada da exposição. Evidenciava-se a necessidade de identificar os indivíduos também sujeitos à exposição ocupacional, além de realizar um estudo aprofundado para analisar, mitigar e prevenir os efeitos sobre a saúde humana.

5.3 Análise da Contaminação Provocada pelos Metais Pesados: Resultados Obtidos e Discussão

Para avaliar a contaminação causada pelos metais pesados ao ambiente, além dos riscos à saúde humana decorrentes desta contaminação, foram analisados os resultados encontrados nas amostras coletadas na área da pesquisa.

As análises físico-químicas foram executadas empregando-se três equipamentos de Espectrometria de Absorção Atômica com Chama diferentes: um equipamento da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, outro do Instituto de Química da Universidade de São Paulo e um terceiro do Instituto Biológico da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

O número total de amostras coletadas foi de 135, sendo que o total de amostras submetidas à análise foi de 60, pois cada amostra de lodo, solo e vegetação foi composta por material de quatro coletas próximas. Esta amostragem encontra-se especificada e resumida na Tabela 5 e os pontos amostrados podem ser visualizados na Figura 11.

TABELA 5 - Número de amostras coletadas e analisadas segundo o material amostrado

MATERIAL AMOSTRADO	NÚMERO DE AMOSTRA COLETADA	NÚMERO DE AMOSTRAS ANALISADAS
Águas superficiais (rio)	4	4
Águas dos poços freáticos	5	5
Efluentes líquidos industriais	4	4
Lodo do Córrego das Antinhas	16	4
Solo (superfície e sub-superfície)	44	11
Vegetação (caule e raiz)	40	10
Animais (material biológico)	22	22
TOTAL	135	60

Para cada material amostrado foram executadas duas análises ou mais (prova e contra-prova); conseqüentemente, os resultados representam a média aritmética dos valores encontrados.

Como o estudo envolvia diferentes áreas de conhecimento, houve o assessoramento de diferentes especialistas em etapas específicas da pesquisa.

Na coleta de amostras de águas, efluentes líquidos, lodo do córrego, das raízes e caule do capim houve assessoramento de técnicos da Divisão de Pesquisas em Resíduos da CETESB.

Na coleta de amostras em animais houve assessoramento do setor de Medicina Veterinária da Divisão de Patologia Animal do Instituto Biológico do Estado de São Paulo.

Nas medições de parâmetros físicos em campo e nas investigações geofísicas empregando o método eletromagnético indutivo, houve assessoramento e fornecimento de equipamentos do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS, do Departamento de Geofísica e Hidrogeologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Figura 11 - Localização dos pontos de amostragem dos diferentes meios amostrados

5.3.1 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados nos Efluentes Líquidos Industriais

Para determinar as concentrações de metais pesados emitidos pela indústria, procurou-se localizar e analisar todos os pontos passíveis de lançamento de efluentes líquidos industriais. Durante as investigações foram identificados três diferentes locais de lançamento de efluentes pela indústria.

Informações locais referiam que desde fevereiro/76 até meados de junho/84, a indústria usou como local de descarte o terreno situado ao fundo da empresa, o qual veio a se transformar, posteriormente, na área aterrada. A partir de meados de junho/84, por exigência da CETESB, o lançamento passou a ser feito diretamente no Córrego das Antinhas (na posição G da Figura 11), o que ocorreu até julho/88. Após essa data, o lançamento passou a ser descartado no Rio Parateí (na posição X da Figura 11 e Foto 9).

Foto 9 - Vista do ponto de lançamento de efluentes líquidos industriais no Rio Parateí

Durante a investigação de campo em 1989, foi encontrada uma tubulação (ponto Y da Figura 11) que vertia líquido, instalada sob o aterro, atravessando-o na direção transversal, no sentido da indústria para a várzea do córrego. Tal achado só foi possível em decorrência da erosão hídrica sofrida por parte do aterro, o que tornou a tubulação aparente. Coletado e analisado, o líquido vertido demonstrou conter alta concentração de metais pesados, vindo a revelar que se tratava de um dreno de escoamento de líquido contendo contaminantes proveniente da indústria.

Embora a exigência da CETESB seja que os efluentes líquidos industriais devam ser lançados em um único ponto para fora da indústria, a empresa lançando seus despejos num ponto do Rio Parateí, mantinha também outro ponto de lançamento no Córrego das Antinhas, motivo pelo qual este último ponto integrou a amostragem.

A amostragem dos efluentes líquidos industriais foi executada nesses pontos e em datas a seguir especificadas:

03/02/1989 - Amostragem colhida em tubulação (dreno) localizada sob o aterro efetuado pela indústria, em terreno ao fundo da mesma (Ponto Y da Figura 11)

10 e 13/03/1989 - Amostragem do ponto de lançamento de efluentes líquidos industriais no Rio Parateí (Ponto X da Figura 11 e Foto 9)

13/03/1989 - Amostragem do antigo ponto de lançamento de efluentes líquidos industriais no Córrego das Antinhas (Ponto G da Figura 11)

A localização dos pontos de amostragem de efluentes líquidos são apresentados na Figura 11 e os resultados na Tabela 6.

TABELA 6 - Resultados das análises referentes a efluentes líquidos da indústria segundo a amostra, o ponto amostrado e os metais pesados pesquisados

DATA	HORA	PONTO DE COLETA	CONCENTRAÇÃO DE METAIS				
			Cádmio	Cobre	CromoVI	Níquel	Zinco
03/02/89	14:00	Y	4,80	0,05	13,09	1,15	21,68
10/03/89	9:00	X	2,16	0,08	0,24	1,38	64,80
13/03/89	10:30	X	0,95	0,06	0,19	0,98	33,00
13/03/89	11:00	G	0,60	0,04	0,86	4,50	5,08
Decreto Estadual 8468/76* Teores Máximos			0,2	1,0	0,1	2,0	5,0

Os pontos X, Y e G estão indicados na Figura 11

Valores expressos em miligramas/litro

* Valores máximos permissíveis para lançamento de efluentes líquidos em corpo d'água

As amostras coletadas tiveram seus resultados comparados com os valores máximos admissíveis para a concentração de metais pesados em efluentes líquidos, ditados pelo Decreto Estadual 8468/76 e evidenciaram o descumprimento da legislação vigente quanto aos padrões de emissão. As concentrações de metais acima do estabelecido se verificaram em todas as amostras, para a maioria dos contaminantes pesquisados.

A indústria operava seu sistema de tratamento de efluentes líquidos por batelada, resultando numa variação da composição dos efluentes líquidos a cada emissão. Ou seja, não havia homogeneidade destes ao longo do tempo, pois eram resultantes dos diferentes tipos de banhos descartados em cada operação. Portanto, é possível que apareçam, nas análises efetuadas, determinados poluentes em maior concentração que outros, ou que nem mesmo seja detectada a presença de alguns, pois as amostras são instantâneas, tomadas em um determinado instante típico.

Complementarmente às amostras efetuadas na presente pesquisa, foram também considerados os resultados das amostragens dos efluentes líquidos obtidos pela CETESB, em diferentes datas, tanto no ponto de lançamento

do córrego, como no Rio Parateí. Estes resultados permitiram constatar a presença de poluentes no despejo emitido pela indústria, acima dos padrões de emissão, o que implicou em vários Autos de Infração aplicados à empresa. As autuações sofridas devido às infrações cometidas podem ser observadas no Anexo A1.

5.3.2 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados nas Águas Superficiais

A determinação dos teores metálicos em amostras de água coletadas à montante, à jusante e no ponto de lançamento de efluentes líquidos no Córrego das Antinhas objetivou verificar, além da contaminação das águas, a existência de um gradiente na concentração de metais entre estes pontos.

Por ocasião da coleta das amostras, o córrego apresentava-se com pouca vazão e se encontrava praticamente tomado pela vegetação de capim. Por se encontrar próximo à sua nascente e por sofrer processo de assoreamento, também devido aos movimentos de terra das proximidades, o Córrego apresentava apenas uma lâmina d'água, razão pela qual resolveu-se amostrar o lodo e a vegetação nos mesmos pontos estabelecidos para a coleta de amostras de água. Para serem efetuadas tais coletas, foram selecionados quatro pontos ao longo do eixo do Córrego das Antinhas, desde a nascente até um ponto localizado ao final do alinhamento do aterro executado pela indústria, assim identificados:

Ponto G - local onde eram lançados os efluentes líquidos industriais antes de 18/07/1988;

Ponto F - a montante do ponto G, distante 500 metros e próximo à nascente do córrego;

Ponto H - a jusante do ponto G, distante 300 metros;

Ponto I - a jusante do ponto G, distante 600 metros.

Os resultados das análises executadas para as amostras de água do córrego são apresentados na Tabela 7, a seguir.

TABELA 7 - Resultados das análises referentes às águas do córrego das Antinhas segundo a posição relativa e os metais pesados pesquisados, em amostras coletadas em 13/03/1989

METAL PESADO	PONTO DE COLETA				Padrão
	F (montante a 300 metros)	G (local de emissão)	H (jusante a 300 metros)	I (jusante a 600 metros)	Águas Classe 2**
Cádmio	0,01	0,60	0,30	0,30	0,01
Cobre	0,03	0,40	0,08	0,04	1,0
Cromo VI	nd	85,9	nd	nd	0,05
Níquel	21,2	45,0	32,3	15,0	0.025*
Zinco	nd	508,0	0,4	nd	5,0

Os pontos F, G, H e I estão indicados na Figura 11

Valores expressos em miligramas/litro

* Valor padrão estabelecido pela Resolução CONAMA nº 20/86

** Valor padrão estabelecido pelo Decreto Estadual 8.468/76

nd : não detectado

As concentrações encontradas são elevadas, principalmente no ponto de lançamento dos efluentes líquidos industriais, evidenciando contaminação por metais pesados, quando comparado com o padrão estabelecido para águas de rio Classe II das Águas Doces, segundo Decreto Estadual 8.468/76. A contaminação foi detectada inclusive à montante do ponto de lançamento (nascente do córrego), devido ao carreamento dos poluentes para este local durante os períodos de enchente que ocorrem na região em épocas de chuva intensa.

O cádmio apresenta concentrações bastante elevadas superando os padrões de qualidade estabelecidos para rios de Classe II (60 vezes no ponto de lançamento e 30 vezes nos pontos à jusante deste). Mesmo na nascente foram detectados níveis de cádmio igual aos limites máximos admitidos.

Para o cobre e o cromo, só foram detectados valores acima dos padrões no ponto de lançamento, sendo muito significativa para o cromo (mais de 1700 vezes o padrão). Para o níquel, as concentrações encontradas foram muito altas: 1800 vezes o padrão admitido no ponto de lançamento, 1060 vezes o padrão

à montante, decrescendo para os pontos à jusante (quase 1300 e 600 vezes o padrão, respectivamente).

No ponto de lançamento de efluentes industriais no córrego, a análise das águas também apresentou uma elevada concentração de zinco, igual a 508,0 mg/l, (100 vezes o padrão).

É conhecida a tendência de precipitação e sedimentação de metais para o fundo dos corpos d'água (sedimentos), principalmente se o pH das águas não for ácido, o que acontece normalmente para o pH natural que fica em torno de 7 (neutro). Pode-se dizer então que o teor de poluentes nas águas não depende unicamente dos efluentes líquidos descartados em cada instante. Devido à existência dos sedimentos de fundo, que podem funcionar como reservatórios de metais, pode ocorrer o desprendimento destes metais por ocasião da agitação das águas. Os metais podem também se acumular nas plantas e ser liberados para o ambiente, incorporando-se no solo ou sedimentos, quando ocorre a decomposição da vegetação.

Evidencia-se, portanto, a possibilidade de contaminação das águas a partir do lodo e da vegetação, considerando-se, no caso, também os elevados teores de metais pesados que foram detectados nestes meios.

5.3.3 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados no Lodo e na Vegetação

Os pontos de amostragem para lodo e vegetação, conforme citado anteriormente, foram os mesmos selecionados para a coleta das águas do Córrego das Antinhas. Para os valores de referência (branco da região-controle), as coletas foram realizadas em amostra de capim *Brachiária* oriundo da região de Santa Branca, em condições similares ao encontrado no local de estudo.

Os resultados das análises executadas para as referidas amostras de lodo e vegetação são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8 - Resultados das análises referentes ao lodo e à vegetação do Córrego das Antinhas segundo a posição relativa, o material coletado, os metais pesados pesquisados e os resultados da região-controle, de amostras coletadas em março/1989

PONTO DE COLETA	MATERIAL AMOSTRADO	CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS				
		CÁDMIO	COBRE	CROMO VI	NÍQUEL	ZINCO
F montante (nascente)	Lodo	1,66	17,2	33,5	96,0	363,2
	Caule	nd	6,6	3,6	11,4	50,0
	Raiz	nd	2,1	3,6	64,6	4,6
G (local de emissão)	Lodo	161,26	292,5	1522,0	317,9	757,6
	Caule	1,88	5,9	7,3	98,5	315,2
	Raiz	22,70	36,2	203,6	95,4	424,3
H jusante (300 metros da emissão)	Lodo	40,44	130,0	1169,0	198,1	766,8
	Caule	6,33	8,9	7,3	166,2	381,8
	Raiz	39,73	20,7	145,4	98,5	400,0
I jusante (600 metros da emissão)	Lodo	56,58	124,9	1021,8	344,9	749,7
	Caule	6,10	6,8	18,2	113,8	335,8
	Raiz	14,91	43,5	261,8	252,3	454,4
Referência	Caule	0,01	0,6	0,2	6,6	10,0
(Região de Santa Branca)	Raiz	0,02	1,4	2,2	4,0	22,0

Os pontos F, G, H e I estão indicados na Figura 11
 Valores expressos em miligramas/kg (peso seco)
 nd : não detectado

As concentrações de metais para as amostras colhidas da vegetação local resultaram em valores elevados, tanto para o caule quanto para a raiz. As concentrações revelaram-se mais altas quanto mais próximas ao ponto de lançamento dos efluentes líquidos.

Quando comparados com vegetação referência da região-controle, os teores das concentrações de metais encontrados nas coletas das

amostras, são elevadíssimos, demonstrando que os metais pesados foram absorvidos e retidos na massa vegetal, o que representa risco de contaminação através da cadeia alimentar.

Ao serem lançados em corpos d'água, pequena parcela dos metais pesados permanece dissolvida na água e a maior parte é depositada no fundo na forma de sedimentos. Portanto, para uma melhor avaliação da contaminação provocada pelas emissões da indústria, deve-se investigar o teor de metais nos sedimentos, muito embora não se disponha de padrões técnicos para efeito de comparação. Alterações nas características físico-químicas do corpo d'água, como por exemplo redução do pH, podem provocar a dissolução dos metais. Aumento do fluxo de água pode causar a ressuspensão dos sedimentos e, portanto, dos metais, podendo disseminar ainda mais a contaminação do corpo d'água. Dragagem do lodo de fundo do córrego e sua conseqüente disposição em outro local pode espalhar a contaminação para outras áreas.

Portanto, os sedimentos podem se comportar como fonte secundária de contaminação, ressuspendendo os metais sempre que houver alteração nas condições reinantes no corpo d'água.

5.3.4 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados nas Águas Subterrâneas

Diferindo do comportamento das águas superficiais, que apresentam uma maior mobilidade e permitem uma rápida diluição e escoamento com conseqüente dispersão dos poluentes, nas águas subterrâneas a contaminação adquirida por infiltração caminha mais lentamente, em função da menor velocidade da pluma de dispersão, quando em comparação com as águas superficiais.

Sabe-se que o solo funciona como uma espécie de filtro para os metais. Aqueles que se encontram não dissolvidos são retidos naturalmente, enquanto que os dissolvidos podem, em parte, ser retidos através de outros

mecanismos como absorção, adsorção. Deste modo, embora a contaminação não atinja as águas subterrâneas com toda a sua potencialidade, os contaminantes retidos no solo podem ser liberados aos poucos para o lençol freático, tornando a contaminação perene e o local contaminado como uma fonte secundária potencial.

Portanto, uma vez poluído um lençol subterrâneo, sua recuperação torna-se difícil, com graves consequências ambientais e de saúde pública, principalmente quando é utilizado como manancial de abastecimento de água.

A questão do abastecimento de água no local de estudo exigia atenção especial. Com a suposta contaminação do lençol freático, houve a necessidade de pesquisar o teor dos contaminantes nestes poços.

Análise das águas de poços freáticos domiciliares, de algumas residências situadas nas proximidades da indústria, já haviam sido efetuadas pela CETESB na data de 29/09/87 e repetidas em 20/01/88. Os resultados destas análises são apresentados no Anexo A2. Como se pode verificar através destes resultados, foi constatada a contaminação em dois poços amostrados (Rua Pará, nº 28 e nº 18). Os valores da concentração de cádmio, cromo e zinco estavam acima dos padrões permitidos pela legislação estadual (NTA-60), destacando-se os altos teores de cádmio encontrados.

Inicialmente a pesquisadora pretendia avaliar a contaminação das águas subterrâneas do local de dois modos: através de amostras de água obtidas em perfurações na área aterrada e de amostras coletadas diretamente nos poços residenciais. Neste último caso, ampliando-se o número de residências já amostradas pela CETESB.

Para a amostragem das águas subterrâneas situadas imediatamente abaixo do aterro, definiu-se, previamente, pontos estrategicamente localizados, os quais deveriam ser perfurados até o nível superficial do lençol freático, onde se procederia à coleta das amostras de águas subterrâneas. No entanto, como a área aterrada encontrava-se muito compactada, não foi possível realizar as perfurações sobre esta área com o equipamento de que se dispunha (trado manual).

Deste modo, a avaliação das águas subterrâneas baseou-se somente nos resultados das amostras de água de poços residenciais. Foram amostradas cinco residências que se encontravam na área de exposição da contaminação. Em algumas residências que deveriam integrar a amostragem, seus moradores não permitiram a coleta de amostras devido à existência de vínculos de relação empregatícia com a indústria de galvanoplastia, temendo alguma represália. A Tabela 9, a seguir, apresenta estes resultados, comparados com os padrões para água potável.

TABELA 9 - Resultados das análises referentes à água de poços freáticos segundo o ponto de coleta, o endereço e os metais pesados pesquisados, em amostras coletadas em março/1989

PONTO DE COLETA	LOCAL AMOSTRADO	CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS				
		Cádmio	Cobre	Cromo VI	Níquel	Zinco
A	R. Pará, 28	9,79	0,004	0,08	6,51	10,5
B	R. Pará, 18	1,95	0,005	nd	4,88	0,71
C	R. Pará, 14	0,20	nd	nd	3,10	nd
D	R. Pará, 10	nd	nd	nd	0,50	nd
E	R. Paratei s/n	0,40	nd	nd	4,31	nd
Referência I *		0,005	1,0	0,05-total	--	5,0
Referência II **		0,01	1,0	0,05-hexav.	--	5,0

Os pontos A,B,C,D e E estão indicados na Figura 11

Valores são expressos em miligramas/litro

nd : não detectado

* Portaria 36 Ministério da Saúde, de 19.01.90

** Decreto estadual 12.486, de 20.10.78 - NTA -60

Dentre os 5 poços pesquisados, as análises realizadas em março de 1989 resultaram, para quatro deles, (Rua Pará, nºs 28, 18, 14 e 10), em valores da concentração de poluentes em desacordo com a legislação federal e com a legislação estadual, dois a mais que os amostrados pela CETESB em 20.01.88.

Este fato que evidenciava o carreamento dos poluentes através da pluma de dispersão subterrânea, o que comprometia e punha em risco outros locais antes não afetados pela contaminação.

Os valores resultantes destas análises levaram a Prefeitura Municipal de Guararema a lacrar estes quatro poços residenciais. A lacração, no entanto, só ocorreu na data de 18/09/89, portanto, dois anos após a primeira amostragem ter detectado contaminação das águas nos referidos poços.

A obrigação, imposta pela CETESB à indústria, de realizar campanha de amostragem periódica nos poços freáticos residenciais vizinhos à empresa, levou à detecção de contaminação em moradias limitrofes ao aterro e em residências da avenida Parateí (confirmando o encontrado por essa pesquisa no ponto E), além das residências da Rua Pará. Estas últimas só foram amostradas na quarta campanha, pois se situavam mais distantes da indústria, porém dentro da área de exposição definida por este estudo de caso. Os resultados desta campanha de amostragem, executada pela própria indústria, são apresentados no Anexo 3. Tais resultados levaram a empresa a fornecer água de seu poço artesiano a doze residências que tiveram seu poço domiciliar comprovadamente contaminado. Isto posto, cinco outros poços foram também lacrados, por conta de seus próprios moradores.

No entanto, na realização do inquérito domiciliar em abril/90, foram observadas sete residências que tiveram suas águas do lençol freático contaminadas, conforme apresentado no Anexo 3. No entanto, essas residências não estavam recebendo nenhum outro tipo de abastecimento de água, utilizando-se, portanto, desses poços diariamente. Além disso, foi possível verificar que algumas residências, mesmo recebendo água da indústria, não haviam lacrado seu poço domiciliar, fazendo uso de suas águas para higiene pessoal e outros usos que não alimentação.

5.3.5 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados no Solo

Em decorrência do nível do lençol freático local ser quase aflorante, as amostras de solo foram coletadas à profundidade de 0,40 m e 1,00 m. À profundidade de 1,00 m as amostras nºs 2, 3 e 4 foram coletas já abaixo do nível do lençol freático, na zona saturada.

Na Figura 11 visualiza-se a localização dos respectivos pontos amostrados e identificados, num croquis da região. A Tabela 10 apresenta os valores das concentrações de metais encontrados para as amostras de solo em ambas profundidades.

TABELA 10 - Resultados das análises referentes a solo segundo o ponto de coleta, a profundidade e os metais pesados pesquisados, em amostras coletadas em março/1989

PONTO DE COLETA	PROFUNDIDADE	CONCENTRAÇÃO DE METAIS				
		CÁDMIO	COBRE	CROMO VI	NÍQUEL	ZINCO
1	0,4 m	9,0	7,0	41,0	162,0	50,0
	1,0 m	7,0	7,0	8,0	200,0	2,0
2	0,4 m	9,0	18,0	18,0	146,0	72,0
	1,0 m	3,0	8,0	5,0	152,0	3,0
3	0,4 m	577,0	322,0	1150,0	87,0	733,0
	1,0 m	63,0	94,0	771,0	15,0	720,0
4	0,4 m	273,0	20,0	120,0	122,0	561,0
	1,0 m	14,0	23,0	23,0	152,0	52,0
5	0,4 m	33,0	27,0	18,0	104,0	101,0
	1,0 m	nd	14,0	8,0	119,0	6,0
Y	0,4 m	14,0	14,0	41,0	262,0	675,0

Os pontos 1,2,3,4,5 e Y estão indicados na Figura 11

Valores são expressos em miligramas/kg (peso seco)

nd : não detectado

As amostras de solo realizadas nos cinco pontos definidos ao redor da área aterrada e ainda junto ao dreno encontrado sob o aterro (ponto Y), apresentaram valores de concentrações elevadas dos metais, para algumas amostras, quando comparadas entre si. No entanto, não há padrões de referência estabelecidos para solo que permitam a comparação com os valores encontrados, visando o enquadramento do solo local.

Conforme já relatado, o solo funciona como um filtro de contaminantes, liberando-os aos poucos para o lençol freático, fato este que pode ser verificado pelos altos teores de metais encontrados nas análises efetuadas.

Nota-se, no entanto, que, com exceção do níquel que tem comportamento inverso, a infiltração dos metais pesados para camadas mais profundas do terreno ocorre, embora o solo possa desempenhar o papel de barreira biogeoquímica. Tal fato é agravado pelo nível do lençol freático na região ser quase aflorante. Deste modo, pode-se verificar que os resíduos industriais colocados no local aterrado tiveram influência direta sobre a contaminação do lençol subterrâneo e, conseqüentemente, dos poços de abastecimento residenciais da vizinhança, além de contaminarem o solo no local onde foram depositados. Neste local o solo funciona como fonte secundária de contaminação, podendo liberar os contaminantes quando as condições ambientais forem favoráveis.

Os resíduos sólidos industriais, basicamente compostos pelo lodo retido no sistema de tratamento dos efluentes líquidos da indústria, apresentam os teores de metais concentrados, como resultado do tratamento que os separa da fase líquida. Em consulta aos documentos da CETESB, verificou-se que esta já havia aplicado autos de infração (17/08/87 e 24/07/89) contra a indústria, por ter constatado a disposição inadequada de resíduos sólidos industriais em terrenos próximos à empresa, sem qualquer tratamento prévio aos resíduos ou aos locais de disposição.

A empresa mantinha no pátio um local de armazenamento de seus resíduos sólidos. Em inspeção industrial, pode-se constatar as precárias condições deste armazenamento (Foto 8), onde os resíduos sólidos, embora sendo acondicionados em tambores de 200 litros, eram simplesmente depositados sobre o solo, sem qualquer sistema de proteção e expostos às intempéries. Na inspeção

pode-se verificar alguns tambores em más condições, apresentando sinais de corrosão e de choque. Posteriormente, a indústria começou a acondicionar estes resíduos em sacos plásticos e a mantê-los em sua área coberta para estoque de materiais, sem contudo, um controle eficiente de seu armazenamento.

Pressionada para dar um tratamento e destinação adequados a estes resíduos, a indústria providenciou primeiramente a instalação de um filtro-prensa, equipamento utilizado para a desidratação do lodo, reduzindo seu teor de umidade. Posteriormente encaminhou amostras para serem analisadas, com a finalidade de se dispor os sólidos em aterro industrial. Em função dos elevados teores de metais existentes nestes resíduos, estes não foram aceitos para disposição em aterro industrial, indicando a necessidade de um tratamento físico-químico prévio, de elevado custo.

5.3.6 Discussão dos Resultados das Concentrações de Metais Pesados em Animais

A investigação de contaminantes em animais levou à coleta de amostras de cinco exemplares da raça gado vacum, sendo possível, em dois deles, amostrar as vísceras, pois estes vieram a falecer no decorrer da pesquisa e foi possível à pesquisadora ter acesso, em tempo hábil, ao material para coleta. Dois animais da raça gado vacum, escolhidos de um lote de 30, que compunham o rebanho de um morador da região próxima à indústria, o qual consentiu que as amostras fossem realizadas em animais de sua propriedade, puderam ser amostrados. Destes animais foram coletadas amostras de sangue, de urina, de leite (do exemplar fêmea) e de ossos (provenientes das últimas sete vértebras da cauda).

Para o quinto animal, de referência ou branco, foram coletadas amostras de fígado, leite, pulmão, rim, sangue e urina, a fim de proceder à comparação com os resultados encontrados nos animais da área em estudo.

As características referentes a cada animal que participou da amostragem e os valores encontrados para as concentrações de metais pesados no material biológico colhido são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Resultados das análises referentes a material biológico de bovinos segundo as características do animal e os metais pesados pesquisados

MATERIAL		METAIS PESADOS				
ANIMAL	AMOSTRADO	CÁDMIO	COBRE	CROMO VI	NÍQUEL	ZINCO
1 5 anos (morto em dez/88)	alça intestinal	nd	5,0	3,0	10,8	61,8
	fígado	0,96	8,0	46,0	16,9	66,3
	pulmão	0,40	17,0	4,0	21,8	100,2
	rim	2,41	6,0	46,0	18,3	36,1
2 3.5 anos (mar/89)	ossos	0,35	nd	8,0	9,5	45,5
	sangue	nd	3,0	17,0	21,0	3,8
	urina	nd	nd	33,0	34,8	17,5
3 6 anos (morto em jan/89)	fígado	1,10	11,0	3,0	45,0	88,7
	ossos	1,04	3,0	21,0	15,8	115,7
	rim	7,55	35,0	6,0	29,2	29,7
	sangue	nd	2,0	nd	63,3	4,0
	urina	nd	nd	nd	24,4	19,6
4 10 anos 5 crias 2 abortos (mar/89)	leite	3,4	2,0	nd	63,1	78,4
	ossos	nd	0,3	0,1	2,5	1,1
	sangue	nd	nd	17,0	21,9	3,8
	urina	nd	nd	nd	30,9	3,1
5 5 anos (animal de referência) (mar/89)	fígado	0,02	160,6	0,2	14,7	76,0
	leite	nd	0,2	nd	8,8	4,9
	pulmão	0,01	53,0	0,1	18,3	58,6
	rim	0,01	121,0	0,2	15,3	55,9
	sangue	nd	0,8	0,1	8,8	7,6
	urina	nd	2,0	0,1	1,6	0,2

Resultados expressos em miligramas/kg (peso seco)

nd : não detectado

Analisando-se os resultados apresentados, pode-se notar que o animal tomado como referência apresentou elevados teores de cobre em suas vísceras, quando comparados com os dois animais do local de estudo, não sendo, portanto, utilizado como parâmetro de comparação. No entanto, este é um elemento essencial ao organismo e cumulativo principalmente no fígado, seguido dos rins.

Sobre os resultados apresentados para as amostras de vísceras dos dois animais mortos tem-se:

- quanto ao zinco, não há uma avaliação conclusiva, pois os valores estão compatíveis com o animal referência;
- para o cádmio e o cromo, os valores encontrados são bem superiores aos valores de referência. Para o cromo, chegou-se a 230 vezes o valor de referência no fígado e nos rins de um dos animais. Para o cádmio, os valores encontrados representaram cerca de 750 e 240 vezes os teores de referência, nos rins; e em torno de 50 vezes para o fígado. Para o níquel, apesar dos teores apresentados serem mais elevados, não são significativos.

Nas amostras de sangue e urina não foi detectado cádmio em nenhum dos animais, inclusive no animal referência. Destacam-se os valores de cromo e níquel, para sangue e urina, em relação à referência. Para o cromo encontrou-se teores de 33,0 e 17,0 e; nd e 17,0 versus 0,1 e 0,1 no branco, respectivamente para urina e sangue. Logo, onde se conseguiu detectar, as concentrações de cromo são bem elevadas. Para o níquel, todas as amostras apresentam teores mais elevados que a referência.

Nos ossos, os valores encontrados não são significativos e pelas amostras colhidas não se pode confirmar a suposição de que funcionariam como reservatório de metais.

No leite, a amostra colhida em animal da região apresentou concentrações bem superiores que a referência para os metais cádmio (3,4 x nd), níquel (63,1 x 8,8), zinco (78,4 x 4,9) e cobre (2,0 x 0,2).

Anteriormente a esta pesquisa, o Instituto Biológico de São Paulo já havia sido chamado a analisar materiais biológicos provenientes de animais da região de estudo que haviam morrido subitamente, resultando nos seguintes diagnósticos:

Em 17/09/1986: Discreta Glomerulite Linfocitária Hemorrágica, em amostras de fígado e rins e em 06/05/1987: Enfisema Pulmonar, Glomerulonefrite Aguda Exudativa e Hemorrágica, Hemorragia Interlobular (região medular), Nefrose Albuminóide, Congestão Hepática Acentuada e Atrofia Hepática, em amostras das vísceras do bovino. No entanto, embora se possa, muito

provavelmente, associar tais diagnósticos à casos de intoxicação aguda ou crônica, por diversos motivos, inclusive devido a agentes químicos que pudessem estar sendo emitidos por indústria galvanotécnica, estes revelam apenas o efeito e não a causa que os provocou.

Quanto aos quatro animais da área em estudo amostrados, ressalta-se que o local de pastagem dos mesmos estava dentro da zona de influência das enchentes e a jusante do antigo ponto de lançamento de efluentes líquidos industriais no Córrego das Antinhas. Considera-se também que alguns dos metais pesquisados não são naturais do organismo destes animais e que no local, a indústria de galvanoplastia era a única fonte possível de emissão desses produtos químicos utilizados em seu processamento industrial.

Em comparação com os resultados das amostras coletadas do animal de referência (branco), verifica-se que os teores metálicos de cádmio, cromo, níquel e zinco, para várias amostras de animais da área em estudo, aparecem com valores bem acima daqueles.

Quanto aos dois animais que morreram durante a investigação, foi possível à pesquisadora coletar as amostras em tempo hábil para proceder às análises; as Seções de Anatomia Patológica e Bacteriologia Animal, do Instituto Biológico, efetuaram exames histopatológicos.

Para o animal morto em dezembro/1988, em análise das vísceras foi diagnosticado o seguinte:

- **Fígado** - Inchação turva dos hepatócitos, com edema seroso intersticial
- **Pulmão** - Pneumonia intersticial predominantemente linfocitária, com infecção secundária e acentuado derrame de sanguíneo e edema seroso
- **Rim** - Tubulonefroze com intenso edema seroso, notadamente na região cortical

Para o animal morto em janeiro/1989, foi diagnosticada intoxicação como "causa mortis".

5.3.7 Discussão dos Resultados Obtidos pelo Método Geofísico

Com o objetivo de se procurar determinar a presença de manchas poluentes no subsolo, através de alterações nas características de condutividade, foi executado um levantamento da área, empregando-se o método eletromagnético indutivo, utilizando-se, para tanto, equipamentos da GEONICS.

O levantamento foi executado ao longo das ruas existentes a jusante do terreno da indústria, ou seja, rumo ao córrego. Este levantamento, cujos resultados são apresentados sob a forma de figuras tridimensionais representando a superfície de condutividade do solo, em duas profundidades diferentes (1,0 e 10,0 metros), encontram-se apresentados nas Figuras 12 e 13.

Analisando-se as figuras tridimensionais verifica-se a existência de um componente muito grande na parte central da área que corresponde à frente da área aterrada aí existente, revelando que por baixo do aterro, ou seja, na parte correspondente ao fluxo de água subterrânea, existe um acréscimo de condutividade devido à presença de algum componente químico inorgânico.

As figuras obtidas mostram também que o fluxo de água contaminada se faz rumo ao córrego, chegando a ultrapassá-lo conforme assinalado nas figuras, ou seja na parte NE da área.

Os locais onde o conteúdo de sais de metais pesados dissolvidos na água é baixo, apresenta valores de condutividade muito baixos, enquanto que naqueles onde o conteúdo é alto, a condutividade é igualmente alta.

Figura 12 - Superfície de isocondutividade do solo em sub-superfície (1 metro)

Figura 13 - Superfície de isocondutividade do solo em sub-superfície (10 metros)

5.4 Avaliação Geral da Contaminação Ambiental

Em função do que foi pesquisado e sintetizado na presente tese, pode-se evidenciar a contaminação ambiental da área em estudo, decorrente do lançamento de resíduos industriais contendo metais pesados, de forma não adequada, no ambiente.

Os resíduos industriais descartados no ambiente não se restringiram aos efluentes líquidos industriais. Também foram encontradas evidências de disposição inadequada de lodo industrial o que se constituiu numa fonte secundária e permanente de contaminação, de maior risco, portanto, que o suposto inicialmente.

Para todos os compartimentos ambientais analisados encontrou-se concentração de poluentes acima dos padrões ou valores de referência determinados. Para o solo, foram encontradas concentrações de todos os metais pesquisados, embora não existam valores de referência (padrões) que permitam aferir o grau de contaminação atingido.

Foram detectados valores de contaminantes acima dos padrões mesmo na nascente do Córrego das Antinhas, local à montante dos pontos de lançamento de efluentes líquidos da indústria e da área aterrada. A contaminação no ponto da nascente do Córrego evidencia que a área de influência da contaminação não se limita à zona de difusão da pluma subterrânea. Devido às características topográficas e hidrogeológicas da região, a contaminação também se expande também pela superfície.

Foram detectados altos teores de metais no lodo do córrego, o que caracterizava uma fonte secundária de emissão de contaminantes. Fenômeno semelhante ocorria com o solo devido a sua característica de filtro bio-geo-químico.

As concentrações encontradas na vegetação de capim Brachiária, tanto na raiz como no caule, mostraram que este vegetal é capaz de retirar os metais do solo e retê-los em seu organismo, funcionando como elo da cadeia alimentar.

Análises das águas dos poços freáticos residenciais, em datas diferentes e subseqüentes, demonstraram que com o decorrer do tempo, a pluma de

contaminação subterrânea tende a se espalhar. Alguns poços foram inseridos na lista dos contaminados, em análises posteriores. Este fato ressalta o avanço da pluma de contaminação subterrânea, atingindo locais anteriormente não afetados e aumentando a concentração de metais nos poços anteriormente atingidos. O avanço da pluma de contaminação subterrânea também reforça o fato de se tratar, no episódio em estudo, de contaminação não eventual, mas permanente, enquanto medidas de remediação não forem tomadas.

Em relação à população exposta, em muitas residências os moradores utilizaram água contaminada dos poços freáticos, inclusive para alimentação. Em Primeiro lugar devido à inexistência de outra fonte de água como alternativa de abastecimento e segundo, quando o suprimento de água potável passou a ser imposto à indústria, tal medida demorou muito tempo a ser concretizada e não foi generalizada a todas as residências. Portanto, é bem possível que os sintomas de agravos à saúde referidos no inquérito domiciliar sejam consequência deste fato, mostrando que a água representa um elemento de grande expressão na exposição da população local, seja por via dérmica ou por ingestão.

A população animal foi atingida pela contaminação não só através da água, mas também, e de forma significativa, pela ingestão de alimentos naturais ou cultivados, produzidos na área dos sítios, via cadeia alimentar. O aspecto físico apresentado pelos animais e os altos valores de metais encontrados, principalmente em vísceras de animais mortos amostradas, sugere que foram intoxicados por metais provenientes da indústria, uma vez que só ela opera com estes elementos químicos na área. Por sua vez, também transferiram, por esta cadeia, os contaminantes bioacumulados, pois eram criados para corte e para fornecimento de leite. Da mesma forma, as culturas plantadas na área podem ter contribuído para o acréscimo de teores dos metais nos organismos de pessoas que as utilizaram.

As determinações resultantes dos métodos geofísicos empregados confirmaram a existência de contaminação por material inorgânico no fundo da área aterrada, coincidindo com informações da população local sobre o lançamento de efluentes líquidos da indústria sem tratamento por muitos anos neste local e, posteriormente, com a imposição de tratamento, pelo órgão ambiental, de descarte do lodo resultante deste.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta tese para obtenção do título de doutorado investigou um caso de contaminação ambiental, ocasionado pela disposição inadequada de efluentes líquidos e de resíduos sólidos que continham metais pesados, gerados por uma indústria localizada em uma área rural do Município de Guararema, SP.

O estudo baseou-se na metodologia de avaliação de saúde aplicada pela ATSDR na investigação preliminar de áreas contaminadas. Os procedimentos da ATSDR deveriam ser incorporados institucionalmente como critérios rotineiros, a serem empregados pelos órgãos ou entidades municipais e estaduais envolvidos com a questão, visando o rápido encaminhamento do caso para o órgão ambiental competente, quando da constatação de casos de áreas contaminadas.

A contaminação ambiental na área de influência da indústria pode ser constatada através da coleta e análise de amostras de água, solo, vegetação e tecidos de animais.

As vias de propagação da contaminação ambiental foram constituídas pelos componentes utilizados como meio de transporte dos metais pesados: as águas superficiais, as águas subterrâneas e o solo. As vias de exposição identificadas foram a ingestão e o contato dérmico.

O lançamento indiscriminado de efluentes líquidos industriais no Córrego das Antinhas e no Rio Parateí, tributário do Rio Paraíba do Sul, carrou poluentes com níveis de concentração acima dos admissíveis para este último, o Rio Paraíba do Sul. Este rio serve como manancial de abastecimento de água para diversas cidades do Vale do Paraíba, extrapolando o limite local da contaminação.

Do mesmo modo, a carne dos animais criados nas vizinhanças e que possivelmente estaria contaminada, durante muito tempo continuou sendo fornecida normalmente, inclusive ao restaurante "Galeto de Ouro", próximo ao local onde o fluxo de pessoas é intenso. Assim, por via da cadeia alimentar, os poluentes tiveram outra forma de acesso ao organismo humano.

Desde a data da primeira constatação, pela CETESB, da contaminação das águas dos poços freáticos de algumas residências, até o efetivo fornecimento de água potável pela indústria, decorreram quase três anos. Esse fato representa uma ocorrência muito grave em termos de saúde pública, pois a população local, sem outra fonte de suprimento de água, continuou consumindo água contaminada.

Durante o estudo, foi solicitado ao Centro de Vigilância Sanitária-CVS da Secretaria de Estado da Saúde, inspeção local quanto às condições de saneamento a que a população do bairro Parateí está sujeita. O relatório da visita técnica discorre sobre as precárias condições de saneamento, apontando que o abastecimento de água potável é incipiente. O CVS, no sentido de tentar melhorar a qualidade de vida da população local e regularizar a situação das empresas do bairro, encaminhou o problema da falta de suprimento de água aos órgãos competentes.

Embora o processo de investigação tenha envolvido diversas instituições (Prefeitura Municipal, CETESB, Secretaria de Estado da Saúde, SABESP, Ministério Público do Estado de São Paulo) não se obteve nenhum resultado prático no sentido de afastar o risco ao qual a população esteve exposta por tanto tempo, demonstrando a falta de mecanismos para implementar ações de caráter institucional emergenciais e coordenadas.

O problema da falta de abastecimento de água potável só foi resolvido por meio da mobilização da própria população local, que conseguiu a construção de um poço artesiano próximo à localidade, com recursos provenientes de fundos do governo federal.

Este fato pode ser considerado como um dos principais resultados desta investigação para a saúde pública, na medida em que os riscos decorrentes da contaminação, assim que identificados pela pesquisadora, foram levados ao conhecimento da população exposta.

A região encontra-se irremediavelmente contaminada. A descontaminação, até onde é possível alcançar, requer um levantamento detalhado da abrangência da pluma atual de contaminação e um estudo de análise de risco que avalie, quantitativamente, a exposição da população. A análise de risco também

deve subsidiar a tomada de decisões, seja no tocante às ações de remediação, a serem empreendidas, seja no estabelecimento de critérios para determinar o uso e a ocupação futuros da área.

Há necessidade de realizar estudos e desenvolver metodologias a serem aplicadas em caso de descontaminação, avaliando quais as alternativas possíveis. O levantamento de recursos para tal fim é fundamental. No entanto, em qualquer alternativa que venha a ser adotada para remediação da área, sempre haverá um residual deixado pela contaminação ambiental, por mais eficiente que seja o método ou a técnica adotados. A descaracterização do bairro se tornaria evidente, com impactos ambientais e principalmente sociais.

Constatou-se, através de análise de planta atualizada obtida a partir de fotos aéreas, que o núcleo residencial instalado na área em estudo vem sofrendo expansão ao longo dos anos, com novos loteamentos, como pode ser visualizado na Figura 14. Esse fato aponta para um aumento da população exposta, sem que se tenha certeza acerca das novas fontes de abastecimento de água para suprir as necessidades destas novas populações.

Como nada foi feito em relação à minimização dos efeitos da contaminação da área, o risco continua existindo, tanto para o ambiente como para a saúde da população envolvida.

Tendo em vista a persistência dos metais pesados como micro poluentes e seus impactos adversos ao ambiente e à saúde humana, no caso em estudo, as diretrizes de gerenciamento a serem seguidas pelas indústrias, principalmente as geradoras de resíduos perigosos, são aquelas que apontam para a redução ou mesmo para a eliminação da liberação desses contaminantes para o ambiente. O objetivo global é adotar estratégias de redução de risco que contemplem a minimização dos resíduos nos diferentes processos produtivos, através da redução na fonte de geração, da reutilização e reciclagem e do tratamento antes da disposição final.

O tema "áreas contaminadas", com tendência ao surgimento de novos casos, principalmente na Região Metropolitana de São Paulo, demandará o desenvolvimento de novos conhecimentos e metodologias para a solução dos problemas.

A Faculdade de Saúde Pública tem um importante papel neste contexto, justificando-se a ampliação de investigações não só em relação aos aspectos técnicos e ambientais, mas principalmente quanto às questões de saúde e aos aspectos sociais relacionados com a questão. A Faculdade também deve se programar para a formação de recursos técnicos necessários e indispensáveis para atuar nesta área de conhecimento.

Como primeira atitude neste sentido, a continuação de estudos nesta área contaminada seria vista como importante para a Faculdade de Saúde Pública, inclusive abrangendo aspectos do problema que não tenham sido abordados neste estudo, ou que tenham sido tratados de forma preliminar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADORNO, R.C.F. & CASTRO, A.L. *O exercício da sensibilidade: pesquisa qualitativa e a saúde como qualidade*. Saúde Soc. **3** (2): 172-85, 1994.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY-ATSDR. *Evaluación de riesgos en salud por la exposición a residuos peligrosos*. Atlanta, 1992.
- AMERICAN WASTE WATER ASSOCIATION *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 16a ed. Washington, APHA, 1985.
- ANDERSEN, A & HANSEN, H.H. Cadmium and zinc in kidneys from Danish cattle. *Nord. Vet. Med.*, **34**:340-9, 1992.
- BATSTONE, R. et al *The safe disposal of hazardous wastes: the special needs and problems of developing countries*. World Bank Technical Paper Number 93, The World Bank, Washington, D.C. 3 vol., 1989.
- BIDSTRUP, P.L. & CASE, R.A M. Carcinoma of the lung in workmen in the bichromates-producing industry in Great Britain. *Brit. J. Ind. Med*, **13**: 260, 1956.
- BIDSTRUP, P.L. Carcinoma of lung in chromate workers. *Brit. J. Ind. Med.*, **8**: 302, 1951.
- BRANCO, S.M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3ª ed. São Paulo, 1986.
- BRANCO, S.M. Observações sobre o comportamento de peixes em presença de certos compostos metálicos dissolvidos na água. *Revista DAE*, **21** (37):37-41, 1960.
- BRUYNE, P. et al. *Dinâmica da pesquisa em ciências sociais*. 7ª ed. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1982.
- BURGESS, W. *A Recognition of health hazards in industry: a review of materials and processes*. 2ª. ed., New York, John Wiley & Sons, 1995.

- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF ENVIRONMENT-CCME. The national contaminated sites remediation program. In: NATO/CCMS PILOT STUDY - FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE, Quebec, 1993. *Compendium of papers and handout materials*.
- CARVALHO, F.M.; TAVARES, T.M.; SILVANY-NETO, A M.; LIMA, M.E.C.; ALT, F. Cadmium concentrations in blood of children living near a lead smelter in Bahia, Brazil. *Environ. Res.*, **40**:437-449, 1986.
- CENTRO PANAMERICANO DE ECOLOGIA HUMANA Y SALUD-ECO. OPS/OMS. *Evaluation epidemiologica de riesgos causados por agentes químicos ambientales: generalidades*. Toluca, 1985. (ECO-Centro Panamericano de Ecologia Humana y Salud, 1).
- CHENG, M.H. et al. Heavy metals uptake by activated sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.*, **47**:362-76, 1975.
- CLAYSON, D.B. et al. The induction of pulmonary tumors in BALB/c/Cb/Se mice by derivatives of hidrazine, in lung tumors in animals. In: Perugia Quadrennial International Conference on Cancer, 3ª, Perugia, 1966. Proceedings. University of Perugia, Division of Cancer Research, 1966. p. 869-80.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. Nota técnica sobre tecnologia de controle - galvanoplastias. São Paulo, 1990. (NT-16).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. *Inventário de resíduos sólidos industriais da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada Santista e Vale do Paraíba*. São Paulo, CETESB, 1992.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. *Tratamento de resíduos líquidos da pequena indústria - galvanoplastias*. São Paulo, 1985.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução CONAMA nº 06 de 15 de junho de 1988. Brasília, 1988.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986. Brasília, 1986.

CRAUN, G.F. & MACCABE, L.J. Problems associated with metals in drinking water. *J. Amer. Wat. Wks. Assoc.*, **67**:593-9, 1975.

CUNHA, R.C.A. Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas: estudo de caso. São Paulo, 1997. [Tese de Doutorado - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo].

DAVIES, N.T. Studies on the absorption of zinc by rat intestine. *Br. J. Nutr.*, **43**:189-203, 1980.

DULKA, J. J. & RISBY, T.H. Ultratrace metals in some environmental and biological systems. *Anal. Chem.*, **48**: 640^A-53^A, nº 8, 1970.

ENTERLINE, P.E. Respiratory cancer among chromate workers. *J. Occup. Med.*, **16**: 523-6, 1974.

FLEISCHER, M. et al. Environmental impact of cadmium: a review by the Panel on Hazardous Trace Substances. *Environ. Health Perspect.*, **5**:253-323, 1974.

FURTADO, M. R. Controle ambiental chega ao subsolo. *Rev. Química e Derivados*, out, 1997. p.8-22.

GERALD, M. et al. Respiratory cancer and occupational exposure to arsenicals. *Arch. Environ.. Health*, **29**: 250-5, 1974.

GIDDINGS, J.C. & MONROE, M.B., ed. *Our chemical environment*. São Francisco, Canfield Press, 1972. Cap.24: Metals focus shifts to cadmium-staff of environmental science & technology.

GILMAN, A; GOODMAN, L.S.; MURAD, F. Las bases farmacológicas de la terapéutica. *Editora Médica Panamericana*, 1981.

GOES, R.C. *Toxicologia industrial: um guia prático para prevenção e primeiros socorros*. Rio de Janeiro, Livraria e Editora Revinter Ltda., 1997.

GOYER, R. A Toxic effects of metals. In: Klaassner, C.D. ; Amdur, M.O, Doull, J. ed. *Casarett and Doull's toxicology*. 3^a. ed. New York, Macmillan Publishing Company, 1986. p 582-635.

GREENE, G.U. *Cadmium compounds*. 2^a. ed. New Mexico, New Mexico Institute of Mining and Technology, 1980. v.3, p.819-911.

HAGUETE, T.M.F. *Metodologias qualitativas na sociologia*. Petrópolis, Vozes, 1987.

- HAMILTON, A & HARDY, H.L. *Industrial toxicology*. 3rd ed. EUA, Publishing Sciences Group, 1974. p. 19-201 - Metals and Metalloids.
- HANSLIAN, L. et al. Upper respiratory tract lesions from chromic and aerosol. *Pracovni Lekarstvi*, **19**: 194-, 19678. Abstracted in Ind. Hyg. Digest, 32: 19, 1968.
- HUNTER, B.A & JONHSON, M.S. Food chain relationships of copper and cadmium in contaminated grassland ecosystems. *Oikos*, **38**:108-17, 1982.
- INTERNATIONAL TECHNICAL INFORMATION INSTITUTE. *Toxic and hazardous: industrial chemicals safety manual for handling and disposal with toxicity and hazard data*. Tokyo, 1977.
- ISHIZU, S. et al. ^{AN} experimental study on teratogenic effect of cadmium. *Ind Health*, **11**: 127-9, 1973.
- JOHNSON, M.S. & EATON, J.W. Environmental contamination through residual trace metal dispersal from derelict lead-zinc mine. *J. Environ. Qual.*, **9**:175-9, 1980.
- KINGSBURY, G.L. & BINGHAM, T. *Reclamation and redevelopment of contaminated land*. EPA/600/SR-92/031. Cincinnati, Risk Reduction Engineering Laboratory, 1992. v.2: European case studies.
- KORTE, F. Ecotoxicology of cadmium: general overview. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **7**: 3-8, 1983.
- KOVALICK Jr., W.W. & KINGSCOTT, J. Progress in clean-up and technological developments in U.S. Superfund Program. In: CONTAMINATED SOIL'95, Maastricht, 1995. *Proceeding*. Dordrecht, The Research Center Karlsruhe (FZK) & Netherlands Organization for Applied Scientific Research. TNO, 1995. v1, p. 29-38.
- KOVALICK, W. *Reclaiming of degraded areas*. In: International Seminar on Waste Processing Management and Technologies, 1º, São Paulo. 1991. São Paulo, 1991.
- LANGARD, S. & NORSETH, T. Chromium. In: Friberg, L. Nordberg, G. F. and Vouk, V.B., ed. *Handbook on the toxicology of metals*. New York, Elsevier, 1979.

- LOURIA, D.B., JOSELOW, M.M., BROWDER, A A The human toxicity of certain trace elements. *Ann. Intern. Med*, **76**: 307-19, 1972.
- MASIRONI, R. Cardiovascular mortality in relation to radioactivity and hardness of local water supplies. *Bull. WHO*, **43**: 687-97, 1970.
- Métodos de Análise de Minerais em Animais e Plantas do Departamento de Ciência Animal da Universidade da Flórida, 2^a. ed.
- MILLETTE, J.R. et al. Agressive water: assessing the extent of the problem. *J. Amer. Wat. Wks. Ass.*, **72**: 263-6, 1980.
- MINAYO, M.C.S. & SANCHES, O. Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementariedade? *Cad. Saúde Pública*, **9**: 239-62, 1993
- MINAYO, M.C.S., Org. et al. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis, Vozes, 1994.
- NORSETH, T. The carcinogenicity of chromium. *Environ. Health Perspect.*, **40**:121-30, 1981.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. *Riesgos del ambiente humano para la salud*. Washington, 1976.
- PAGE, A L., BINGHAM, F.T., & CHANG, A C. Cadmiun. In: Lepp, N.W., ed. *Effect of heavy metal pollution on plants*. London, Applied Sciences, 1981. p 77-109.
- PATTON, M.Q. *Qualitative evaluation methods*. 10^a ed. Califórnia, Sage Publications, Inc., 1989.
- PETERSON, J.E. *Industrial health*. Prentice-Hall, New Jersey, 1977.
- PRASAD, A S. Human zinc deficiency. In: Sarkar, B, ed. *Biological aspects of metals and metal-related disease*. New York, Raven Press, 1983. p. 107-19.
- PURVES, D. *Trace element contamination of the environment*. Amsterdam, Elsevier Scientific Pub. Co., 1977. p. 9-12.
- ROCCA, A C. et al. *Resíduos sólidos industriais*. 2^a. ed. São Paulo, CETESB, 1993.
- SANSTEAD, H.H. Zinc in human nutrition. In: Bronner, F. & Coburn, J. W., ed. *Disorders of mineral metabolism*. New York, Academic Press, 1981. p. 94-159.

- SÃO PAULO, Leis etc. Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, CETESB, 1987.
- SÃO PAULO. Leis etc. NTA 60 Norma Técnica Especial (NTA) sobre águas de consumo alimentar. (Aprovada pelo Decreto Estadual nº 12.486, de 20 de outubro de 1978, São Paulo, CETESB, 1993.
- SCHROEDER, H. A et al. Essential trace metals in man: copper. *J. Chron. Dis.*;1007, 1966.
- SHILLER. A M. & BOYLE, E.A Variability of dissolved trace metals in the Mississippi River. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51:3273-7, 1987.
- SIEGRIST. R.L. *International review of approaches for establishing cleanup goals for hazardous contaminated land*. Norway. Institute for Georesources and Pollution Research. 1989.
- STEALY, C.L. & SUMMERLIN, H.S. *J. Am. Med. Assoc.*, 126:954, 1944.
- STOKINGER, H.E. The metals. In: Patty, F.A *Patty's industrial hygiene and toxicology*. 3rd.ed. New York, Johnley & Sons, 1981.
- STUMM, W. & BILINSKI, H. Trace metals in natural waters; difficulties in interpretation arising from our ignorance on their speciation. *Adv. in Water Pollut. Res. Proc. Of 6th Int. Conf.* 1:820-27, 1973.
- TRIVIÑOS, A.N.S. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo, Atlas, 1995.
- UNDERWOOD, E.J. *Trace elements in human and animal nutrition*, 4th ed. New York, Academic Press, 1977.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME-UNEP. *Chemical pollution: a global overview*. Genebra, 1992.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA. Risk Assessment Guidance for Superfund - volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA 540/1/89/002. Washington, DC, Office of Emergency and Remedial Response, 1989. 264p.

WHO Environmental Health Criteria for Cadmium. *Ambio*, 6:287-90, 1977.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Cadmium*. Geneva, 1992a. (WHO - Environmental Health Criteria, 134).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Cadmium*. Geneva, 1992b. (WHO- Environmental Health Criteria, 135).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Chromium*. Geneva, 1988. (WHO- Environmental Health Criteria, 61).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health impact of acidic deposition. *Sci. Total Envirom.*, 52:157-187, 1986.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Nickel*. Geneva, 1991. (WHO - Environmental Health Criteria, 108).

ZANINI, A C. & OGA, Z. *Farmacologia aplicada*. 3^a.ed. São Paulo, Atheneu, 1985.

ANEXO 1 - Ações do Órgão Estadual de Meio Ambiente e da pesquisadora efetuadas sobre a indústria e área em estudo

Para melhor entendimento da questão que envolve a disposição de efluentes líquidos e resíduos sólidos resultantes do processamento industrial da Zincomatic são apresentados, em ordem cronológica a partir de 1984, as ações de fiscalização e controle quanto à poluição ambiental desenvolvidas pela CETESB junto à indústria e outras significativas para o caso estudado.

18/06/1984 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência - Prazo de 30 dias para tratar e dispor adequadamente seus efluentes líquidos

27/01/1986 - Licença de Instalação/Ampliação com as seguintes exigências:

- a. Sistema de ventilação/exaustão local para a área de banho de Cromo Duro e Decapagem**
- b. Sistema de retenção de material particulado na unidade de jateamento**
- c. Sistema de tratamento de esgoto doméstico**
- d. Tratamento dos efluentes líquidos industriais**
- e. Implantação de sistema de contenção**

13/02/1986 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência por não atender aos itens a, b e e das exigências da Licença de Instalação/Ampliação de 27/01/1986

20/10/1986 - Amostragem dos efluentes líquidos no ponto de lançamento no Córrego das Antinhas

17/12/1986 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência por não ter atendido o item D das exigências da Licença de Instalação/Ampliação do dia 27/01/1986, quanto à eficiência. Concessão de prazo de 15 dias para regularização do lançamento de seus efluentes líquidos

- 05/02/1987 - Amostragem de efluentes líquidos com resultados em desacordo com a legislação
- 24/03/1987 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Multa (300 ORTNs) referente ao Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência de 17/12/1986, com prazo de 7 dias para regularização do lançamento de seus efluentes líquidos
- 24/07/1987 - Amostragem dos efluentes líquidos industriais
- 17/08/1987 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Advertência por ter disposto borras dos tanques de galvanoplastia em terreno próximo à indústria
- 23/09/1987 - Solicitação de amostragem e análise das águas dos poços de abastecimento das residências vizinhas à indústria
- 29/09/1987 - Amostragem da água dos poços das residências vizinhas à indústria e dos efluentes líquidos industriais, com valores fora dos parâmetros determinados pela legislação
- 07/10/1987 - Amostragem dos efluentes líquidos em desacordo com os parâmetros da legislação vigente, resultando em Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Multa (600 OTNs)
- 20/01/1988 - Amostragem dos poços freáticos das residências vizinhas à indústria e de 5 pontos do brejo situado ao fundo da empresa
- 28/01/1988 - Amostragem de efluentes líquidos e corpo d'água receptor com valores em desacordo com a legislação
- 24/03/1988 - Amostragem de efluentes líquidos com parâmetros em desacordo com a legislação

- 10/05/1988 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Multa (1200 OTNs) com prazo de 1 dia para regularizar a situação
- 18/05/1988 - Concessão de Medida Liminar proibindo o lançamento de efluentes líquidos em desconformidade com as normas técnicas e padrões vigentes, no Ribeirão das Antinhas ou em qualquer outro corpo d'água até o término da Ação Civil Pública Ambiental com Pedido de Liminar proposta contra a indústria pelo Ministério Público do Estado de São Paulo, por danos ambientais causados
- 09/06/1988 - Inspeção efetuada às instalações da indústria com Solicitação de amostragem de efluentes líquidos industriais
- 16/06/1988 - Amostragem de efluentes líquidos com valores em desacordo com os padrões estabelecidos por lei
- 21/06/1988 - Amostragem de efluentes líquidos com valores em desconformidade com a legislação
- 18/07/1988 - Ponto de lançamento dos efluentes líquidos da indústria transferido do Córrego das Antinhas para o Rio Parateí, por este apresentar maior vazão
- 28/07/1988 - Carta da CETESB acolhendo o recurso e cancelando o Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Multa do dia 10/05/1988 (1200 OTNs)
- 11/08/1988 - Inspeção às instalações da indústria e em seu sistema de tratamento de efluentes líquidos . (Nesta data não houve lançamento de efluentes líquidos para coleta)
- 27/10/1988 - Amostragem de efluentes líquidos com valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação

- 09/11/1988 - Inspeção às instalações da indústria e de seu sistema de tratamento de efluentes líquidos. (Sem lançamento de efluentes líquidos para coleta)
- 09/12/1988 - Inspeção às instalações da indústria e de seu sistema de tratamento de efluentes líquidos. (Sem lançamento de efluentes líquidos para coleta)
- 10/02/1989 - Inspeção de campo no dreno localizado sob a área aterrada executada pela indústria nos fundos da mesma. Medida de pH = 7,08 e constatação visual de cor amarelada e características de efluente galvanotécnico, em líquido escoado por este dreno
- 23/02/1989 - Solicitação de amostragem no ponto do dreno
- 24/02/1989 - Inspeção às instalações da indústria e de seu sistema de tratamento de efluentes líquidos
- 09/03/1989 - Amostragem de efluentes líquidos industriais e dos resíduos sólidos (resíduos estes que se encontravam dispostos em frente à portaria da indústria), com resultados fora dos padrões impostos pela legislação
- 05/04/1989 - Amostragem de efluentes líquidos e do corpo d'água receptor em desacordo com os padrões da legislação e amostragem na fossa séptica da indústria revelando altos teores de metais pesados
- 06/07/1989 - Inspeção às instalações da indústria e em seu sistema de tratamento de efluentes líquidos
- 24/07/1989 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Multa por ter disposto inadequadamente resíduo sólido industrial em terreno localizado próximo à indústria (600 OTNs)

- 14/08/1989 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Interdição Temporária (15 dias) emitido pelo Secretário do Meio Ambiente do Estado**
- 22/08/1989 - Realização da execução da penalidade assinada em 14/08/1989, com a interdição da indústria**
- 23/08/1989 - Inspeção às instalações da indústria**
- 24/08/1989 - Inspeção às instalações da indústria**
- 28/08/1989 - Inspeção às instalações da indústria**
- 05/09/1989 - Deslacração e desinterdição dos equipamentos da indústria (após 15 dias)**
- 12/09/1989 - Inspeção às instalações da indústria e aos sistemas de tratamento de efluentes líquidos e de controle da poluição do ar**
- 13/06/1990 - Auto de Infração com Imposição de Penalidade de Interdição Temporária (30 dias) emitido pelo Secretário do Meio Ambiente do Estado.**
- 29/06/1990 - Deslacração e desinterdição dos equipamentos da indústria devido ao recurso imposto pela indústria ao Secretário de Meio Ambiente.**
- 04/03/1994 - Encerramento das atividades da indústria.**

ANEXO 2 - Resultados das análises realizadas pela CETESB em poços freáticos residenciais da área em estudo

DATA COLETA	PONTO COLETA	ENDEREÇO	CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS					
			Cu	Cr	Zn	Cd	Ni	Cl
29.09.87	1	R. Rio Branco, 212	--	nd	0,01	nd	--	19,0
29.09.87	2	R. Rio Branco, 190	--	nd	0,01	nd	--	47,5
29.09.87	3	R. Mato Grosso, 334	--	nd	0,03	nd	--	19,0
29.09.87	6	R. Pará, 28	--	0,06	7,50	1,20	--	82,0
29.09.87	7	R. Pará, 18	--	nd	6,50	1,00	--	80,0
29.09.87	8	R. Pará, 14	--	nd	0,07	nd	--	66,0
29.09.87	16	R. Rio Branco, 124	--	--	--	--	--	--
20.01.88	1	R. Rio Branco, 212	--	nd	0,05	nd	--	25,0
20.01.88	2	R. Rio Branco, 190	--	nd	0,02	nd	--	25,0
20.01.88	3	R. Mato Grosso, 334	--	nd	0,03	nd	--	28,0
20.01.88	6	R. Pará, 28	--	0,09	9,40	1,30	--	105,0
20.01.88	7	R. Pará, 18	--	nd	1,50	0,22	--	60,0
20.01.88	8	R. Pará, 14	--	nd	0,05	nd	--	120,0
20.01.88	16	R. Rio Branco, 124	--	nd	0,11	nd	--	30,0
VALORES DE REFERÊNCIA ADMISSÍVEIS *			1,00	0,05	5	0,01	--	250

Valores são expressos em miligramas/litro

nd : não detectado

* Valores admissíveis pelo NTA-60 - Decreto Estadual 12.486, de 20.10.78

Fonte: Processo de controle da CETESB

**ANEXO 3 - Resultados das análises referentes à campanha de amostragem
efetuada pela indústria nas águas dos poços freáticos residenciais**

DATA COLETA	PONTO COLETA	ENDEREÇO	CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS					
			Cu	Cr	Zn	Cd	Ni	Cl
		Endereço						
18.09.89	1	R. Pará, 28	--	nd	0,53	0,05	--	--
18.09.89	2	R. Pará, 18	--	nd	1,44	0,21	--	--
18.09.89	3	R. Pará, 14	--	nd	0,38	0,05	--	--
18.09.89	4	R. Pará, 10	--	nd	nd	nd	--	--
18.09.89	5	R. Pará, 02	--		0,02	nd	--	--
18.09.89	6	R. Pará, 170	--		nd	nd	--	--
18.09.89	7	R. Rio Branco, 132	--		nd	nd	--	--
18.09.89	8	R. Rio Branco, 124	--		nd	nd	--	--
18.09.89	9	R. Rio Branco, 190	--		nd	nd	--	--
18.09.89	10	R. Rio Branco, 212	--		nd	nd	--	--
18.09.89	11	R. Mato Grosso, 334	--		nd	nd	--	--
20.11.89	1	R. Pará, 28	POÇOS LACRADOS					
20.11.89	2	R. Pará, 18	PELA PREFEITURA					
20.11.89	3	R. Pará, 14	MUNICIPAL DE					
20.11.89	4	R. Pará, 10	GUARAREMA					
20.11.89	5	R. Pará, 2	--	nd	0,05	nd	--	--
20.11.89	6	R. Pará, 170	--	nd	0,07	nd	--	--
20.11.89	7	R. Rio Branco, 132	--	nd	ND	nd	--	--
20.11.89	8	R. Rio Branco, 134	--	nd	ND	nd	--	--
20.11.89	9	R. Rio Branco, 190	--	nd	0,78	nd	--	--
20.11.89	10	R. Rio Branco, 212	--	nd	0,52	nd	--	--
20.11.89	11	R. Mato Grosso, 334	--	nd	0,85	nd	--	--
19.01.90	1	R. Pará, 28	POÇOS LACRADOS					
19.01.90	2	R. Pará, 18	PELA PREFEITURA					
19.01.90	3	R. Pará, 14	MUNICIPAL DE					
19.01.90	4	R. Pará, 10	GUARAREMA					
19.01.90	5	R. Pará, 2	--	nd	0,06	ND	--	--
19.01.90	6	R. Pará, 170	--	nd	0,85	ND	--	--
19.01.90	7	R. Rio Branco, 132	--	nd	ND	ND	--	--
19.01.90	8	R. Rio Branco, 134	--	nd	ND	ND	--	--
19.01.90	9	R. Rio Branco, 190	--	0,08	0,21	ND	--	--
19.01.90	10	R. Rio Branco, 212	POÇO LACRADO					
19.01.90	11	R. Mato Grosso, 334	POÇO LACRADO					
14.03.90	5	R. Pará, 2	--	ND	0,06	0,01	--	--
14.03.90	6	R. Pará, 170	--	ND	0,75	ND	--	--
14.03.90	9	R. Rio Branco, 190	--	0,21	0,18	0,03	--	--
14.03.90	13	Av. Parateí, 302	--	ND	,045	0,01	--	--
14.03.90	14	Av. Parateí, 308	--	ND	,045	0,01	--	--
14.03.90	15	Av. Parateí, 314	--	ND	,057	,004	--	--
14.03.90	16	Av. Parateí, 320	--	ND	0,15	,006	--	--
14.03.90	17	Av. Parateí, 322	--	ND	0,02	,001	--	--
14.03.90	18	Av. parateí, 380	--	ND	,073	ND	--	--
14.03.90	19	Av. Parateí, 362	--	ND	0,08	ND	--	--
14.03.90	20	Av. Parateí, 504	--	0,03	,008	ND	--	--
Valores Admissíveis *			1,00	0,05	5	0,01	--	250

Valores expressos em miligramas/litro

nd : não detectado

* Portaria 36 Ministério da Saúde, de 19.01.90

** Decreto estadual 12.486, de 20.10.78 - NTA -60

Fonte: Zincomatic - Tratamento de Metais Ltda.