UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Avaliação do comportamento geoquímico do
chumbo em uma área urbana - Taboão da Serra
- análise crítica das ações empresariais em
questões de contaminação ambiental
Estudo de Caso**

Thiago Henrique Dantas Pereira

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujani Sígolo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e
Hidrogeologia**

São Paulo
2014

Thiago Henrique Dantas Pereira

**Avaliação do comportamento geoquímico do
chumbo em uma área urbana - Taboão da Serra
- análise crítica das ações empresariais em
questões de contaminação ambiental
Estudo de Caso**

Tese apresentada ao Instituto de
Geociências da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Geociências.

Área de Concentração: Hidrogeologia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujani
Sígolo

**Versão Corrigida
São Paulo
2014**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Pereira, Thiago Henrique Dantas

Avaliação do comportamento geoquímico do chumbo em uma área urbana - Taboão da Serra - análise crítica das ações empresariais em questões de contaminação ambiental Estudo de Caso. / Thiago Henrique Dantas Pereira. -- São Paulo, 2014.

146 p. : il. + anexos

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP

Orient.: Sigolo, Joel Barbujani

1.Chumbo 2. Hidrogeologia 3. Geoquímica 4. Áreas contaminadas I. Título

Nome: Pereira, Thiago Henrique Dantas

Título: Avaliação do comportamento geoquímico do chumbo em uma área urbana - Taboão da Serra - análise crítica das ações empresariais em questões de contaminação ambiental. Estudo de Caso.

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Geociências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Maria Dina, que tanto me quis por perto enquanto me dedicava a essa empreitada, a minha tia e segunda mãe Edna, aos meus queridos irmãos, Alex, Tati e Alexandre, aos dois grandes tesouros da família, Vitor e João Pedro (Zé ruela) e a minha amada, parceira e companheira Letícia, pelo incentivo, apoio e paciência com minhas angústias para lutar pelos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi concretizado graças a um esforço coletivo e dependeu da colaboração de inúmeras pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a sua realização.

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Joel B. Sígolo pela orientação, dedicação, apoio, incentivo, amizade e, sobretudo, a paciência; o qual tornou possível a realização desse trabalho.

Aos membros presentes no exame de qualificação os professores Dr. José Guilherme Franchi da Unifesp e Dr. Raphael Hypolito do IGC-USP.

Aos técnicos do LCT da Faculdade de Engenharia de Minas-USP que realizaram parte das análises químicas.

A consultoria ambiental, BTX - Geologia e Meio Ambiente pela oportunidade de desenvolver o trabalho, por ceder gentilmente os dados para análise e pelo grande período de aprendizagem técnica na área de hidrogeologia. Em especial as pessoas com quem tive grande honra de trabalhar, Renata Altafini, Danilo Almeida, Silvia Cremonez, Aline Carrazza e mais recentemente à Kelen Garcia, Camila (Rasga-Deusa Rá) e os desenhistas Robson Rocha e André.

Aos colegas que estiveram sempre por perto para debater, auxiliar ou simplesmente fazer parte de um momento qualquer, de um “descanso bibliográfico”, Alexander (Ale - meu eterno bixo), ao Diego Hernane, a Priscila, a Daniela Grossi, ao meu “filho” Ricardo, a Suellyn, ao Gustavo (Véio) e ao Prof. Boggiani.

Ao colega e parceiro Rafael Terada pelo auxílio nas atividades de campo, química e coleta de águas subterrâneas.

Aos funcionários do Departamento de Áudio-Visual do Instituto de Geociências (IGc - USP) que se mostraram sempre prestativos.

Aos funcionários da biblioteca do Instituto de Geociências (IGc – USP) sempre muito solícitos durante a pesquisa.

Aos funcionários da Gráfica do Instituto de Geociências (IGc – USP) pela grande ajuda.

Aos funcionários da Seção de Pós Graduação Leonardo e Magali, o meu sincero muito obrigado.

“Tudo parece impossível, até que seja feito”

**“Depois de se escalar um grande morro nós descobrimos que existem muitas
montanhas a mais para se escalar”**

In memoriam, Nelson Mandela “MADIBA”.

RESUMO

PEREIRA, T. H. D. Avaliação do comportamento geoquímico do chumbo em uma área urbana - Taboão da Serra - análise crítica das ações empresariais em questões de contaminação ambiental. Estudo de Caso. 2014. 146f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

A área de estudo situada no município de Taboão da Serra, Região Metropolitana de São Paulo, possui histórico de ocorrências anômalas de chumbo na água subterrânea, frequentemente reportando concentrações acima dos valores orientadores da CETESB. Verifica-se que em muitos casos de contaminação ambiental por metais de forma geral, e principalmente o chumbo, os procedimentos realizados não são suficientes para que seja feita uma análise mais apurada da contaminação das águas subterrâneas, fazendo com que, em muitos casos a fonte da contaminação seja atribuída, erroneamente, ao material geológico. A presente dissertação teve como objetivo analisar a metodologia de investigação empregada pela empresa bem como avaliar o comportamento do chumbo na água subterrânea local quanto aos fatores geológicos e físico-químicos que produziram a sua ocorrência e presença na forma solúvel em meio aquoso. Dessa forma, para atender os objetivos acima, foram realizados estudos de caracterização hidrogeológica e hidroquímica. Os métodos hidrogeológicos foram realizados de forma a se obter dados básicos como, carga hidráulica, potenciometria, direção e velocidade da água no aquífero local. Os métodos hidroquímicos seguiram com a coleta de dados em campo como sondagem para coleta de solo, amostragem de águas subterrâneas, medidas de parâmetros físico-químicos e análises laboratoriais. Com relação aos dados dos parâmetros físico-químicos, o pH verificado para a área apresentou valores entre 5,43 a 9,7. A análise das concentrações históricas do íon chumbo no meio aquoso em relação ao diagrama de especiação, sugere que as formas mais estáveis do chumbo na faixa de pH encontrada corresponde, em porcentagem, as espécies: Pb^{2+} (20%) e $Pb(OH)^+$ (20%). O restante, 60% pode ser identificado no diagrama Pb-S-C-O-H. Como a variação do pH nas campanhas de amostragem ficaram entre 6 e 9, e as condições de Eh positivas, a principal forma estável nesse contexto é o $PbCO_3$. Entretanto, por conta do baixo carbono orgânico total COT em torno de 1%, o chumbo tende a se manter na matriz do solo ligado a fração argilosa em minerais como a caulinita, muscovita ou oxi-hidróxidos de ferro e alumínio presentes no solo segundo os resultados obtidos por Difração de Raio X. Dessa forma verifica-se que a avaliação da contaminação por chumbo pode estar relacionada com sua interação química com outros compostos no sistema aquífero. O que em termos das ações empresariais em caso ambiental sugere um levantamento mais amplo da investigação analisando a matriz do solo e as condições de solubilidade de seus principais constituintes.

Palavras-chave: Áreas contaminadas, Chumbo, Hidrogeologia, geoquímica.

ABSTRACT

PEREIRA, T. H. D. Evaluation of the geochemical behavior of lead in an urban area - Taboao da Serra - Critical analysis of corporate actions on issues of environmental contamination. Case Study. 2012. 146f. Thesis (Master). Graduate Program in Mineral Resources and Hydrogeology, University of São Paulo, 2014.

The study area is located in the county of Taboão da Serra, São Paulo Metropolitan Region, has a history of anomalous occurrences of lead in groundwater, often reporting concentrations above the guideline values by CTESB. It is noted that in many cases of environmental contamination by metals, and especially lead, the procedures are not sufficient for a more accurate analysis of groundwater contamination is made, so that in many instances the source contamination is wrong attributed to the geological material. This thesis aims to analyze the research methodology employed by the company as well as evaluating the behavior of lead in local groundwater as the geological and physical- chemical factors that produced its occurrence and presence in soluble form in aqueous. Thus to meet the above objectives method of hydrogeological and hydrochemical characterization were performed. Hydrogeological methods were performed in order to obtain basic data as hydraulic load, potentiometry, direction and speed of the water at aquifer. The hydrochemical methods followed by collecting field data as probing for collecting soil, groundwater sampling, measures of physical-chemical parameters and laboratory analyses. According the data of physico-chemical parameters, pH checked for the area showed values between 5.43 to 9.7. The analysis of historical concentrations of lead ion in the aqueous in relation to the speciation diagram suggests that the most stable forms of lead in the pH range found corresponds in percentage species: Pb^{2+} (20%) and $Pb(OH)^+$ (20%). The remaining 60% can be identified in the diagram Pb-S-C-O-H. As the pH variation in the sampling campaigns were between 6 and 9, and the conditions of positive Eh, the main stable in this context is $PbCO_3$. However, due to the low total organic carbon TOC around 1 %, lead tends to remain in the soil matrix bound to clay fraction minerals such as kaolinite, muscovite or oxy-hydroxides of iron and aluminum in the soil according to the results obtained by X-ray Diffraction. Thus it appears that the evaluation of lead contamination may be related to its chemical interaction with other compounds in the aquifer. In according of corporate actions in environmental cases suggests a broader survey of research analyzing the soil matrix and conditions of solubility of its main constituents.

Keywords: Contaminated areas, Lead, hydrogeology, geochemistry.

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1-1 - Localização aproximada da Área de Estudo em Taboão da Serra.....	5
Figura 4.2-1 - Geologia da Região Metropolitana de São Paulo	8
Figura 4.3-1 - Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo.	10
Figura 4.4-1 - Compilação dos Tipos Climáticos para o Estado de São Paulo.	14
Figura 4.5-1 - Uso e ocupação do entorno imediato a área de estudo.....	18
Figura 5.2-1 - Processos e compostos químicos atmosféricos	27
Figura 5.4-1 - Principais interações em sistemas aquíferos	38
Figura 6.2-1 - Fluxograma do Gerenciamento de áreas contaminadas	51
Figura 6.3.1-1 - Desenvolvimento de um modelo conceitual hidrogeológico.	55
Figura 6.3.1-2 - Poço de monitoramento segundo NBR-15495-1	57
Figura 6.3.1-3 - Principais etapas para a realização do ensaio de lixiviação.	60
Figura 6.3.1-4 - Localização dos pontos de investigação com instalação das sondagens para coleta de solo, amostragens de águas subterrâneas e para análise NBR.....	61
Figura 6.4.2-1 - Características geométricas para determinação do Coeficiente de Permeabilidade (k). .	63
Figura 6.7.2-1 - Fluxograma simplificado da amostragem de solo para investigação complementar.....	87
Figura 7.1-1 - Pluma de Chumbo (Nov/2010)	94
Figura 7.2.1-1 – Projeção da distribuição granulométrica da sondagem complementar (SL-01 a SL-04) no diagrama triangular de SHEPARD (1954).	99
Figura 7.2.1-2 - Direção da seção geológica considerada na elaboração do perfil geológico.	100
Figura 7.2.1-3 - Perfil geológico local da área de estudo – Taboão da Serra.	101
Figura 7.3-1 - Mapa potenciométrico para a área.....	108
Figura 8.1-1 – Diagrama da concentração de chumbo em função do pH da solução.....	121

INDICE DE TABELAS

Tabela 7.2.1-1 - Distribuição granulométrica do solo (sondagem complementar).	98
Tabela 7.2.2-1 - Composição química do solo por (FRX).....	102
Tabela 7.2.2-2 – Resultados de elementos traços das amostras complementares de solo	104
Tabela 7.3-1 – Variação histórica do nível d'água	105
Tabela 7.3-2 – Potenciometria média para o aquífero local	107
Tabela 7.3-3 – Coeficientes de permeabilidade para a área	109
Tabela 7.4.1-1 – Variação do pH no aquífero durante a etapas de amostragens de águas subterrâneas.....	110
Tabela 7.4.1-2 – Variação do oxigênio dissolvido OD no aquífero.....	111

Tabela 7.4.1-3 – Variação do Eh no aquífero	113
Tabela 7.4.1-4 – Variação da condutividade elétrica no aquífero.....	114
Tabela 7.4.2-1 - Parâmetros físico-químicos do terreno abandonado.....	116

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.4-1 - Chave para classificação climática de Koppen	13
Quadro 4.4-2 – Dados para série de Normal climatológico de Taboão da Serra (1961 a 1990).	15
Quadro 5.1.1-1 - Fontes Naturais de Chumbo.....	20
Quadro 5.2-1 - Comparação entre valores médios de pH e concentrações médias ponderadas pelo volume ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) de algumas espécies iônicas presentes em águas da chuva de São Paulo.....	28
Quadro 5.3.1-1 - Força de Ligação de Metais em Diferentes Solventes.	36
Quadro 5.4-1 - Principais espécies químicas de chumbo que podem permanecer em solução.....	39
Quadro 5.6-1 - Técnicas de preservação e armazenamento de algumas amostras para análises físico-químicas.	43
Quadro 6-1 – Resumo das etapas metodológicas utilizadas na dissertação	48
Quadro 6.4.2-1 - Dados construtivos de poço de monitoramento para o aquífero superficial Flórida.	64
Quadro 7.1-1 - Principais Resultados Solo por ICP em função dos valores orientadores da CETESB, 2005.....	89
Quadro 7.1-2 – Resultados do ensaio NBR para a sondagem ST-05.....	91
Quadro 7.1-3 - Resultados Históricos (maio de 2008 a abril de 2012) de chumbo nas águas subterrâneas.....	92
Quadro 7.2.1-1 - Características geotécnicas.....	96
Quadro 7.2.1-2 - Estados compacidade e resistência do solo	97
Quadro 7.2.2-1 – Resultados Difração de Raio X (DRX).....	104
Quadro 7.4.2-1 – Resultados da amostragem de águas subterrâneas para os poços historicamente contaminados (PM's) e os do terreno ao lado da área.	118

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.4-1 - Distribuição média das chuvas da série da Normal Climatológica (1961 a 1990)	16
Gráfico 5.2-1 - Concentração média anual de Chumbo na Atmosfera.....	30
Gráfico 5.3.1-1 - Porcentagem de cátions adsorvidos em hidróxido de ferro em função do pH.	37
Gráfico 5.4-1 - Diagramas de especiação do chumbo.....	41
Gráfico 7.1-1 - Concentrações históricas de chumbo no aquífero local.	93
Gráfico 7.3-1 – Variação históricas do nível d'água no aquífero local.....	106

Gráfico 7.4.1-1 – Variação do pH no aquífero.	110
Gráfico 7.4.1-2 - Variação do oxigênio dissolvido OD no aquífero.	112
Gráfico 7.4.1-3 - Variação do Eh no aquífero	113
Gráfico 7.4.1-4 - Variação da condutividade elétrica no aquífero	115

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 6.6.1-1 – Sondagem para coleta de solo localizada ao lado do empreendimento.	74
Foto 6.6.1-2 - Coleta de solo ao lado do empreendimento.	75
Foto 6.6.2-1 - Interior do terreno ao fundo a área do condomínio (área de estudo).	81
Foto 6.6.2-2 - Disposição de recipientes de tintas e produtos químicos.	81
Foto 6.6.2-3– Tambores parcialmente queimados alguns com produto oleoso em seu interior.	82
Foto 6.6.2-4 – Antigo galpão com grande quantidade de tambores vazando, ao fundo é possível observar o condomínio.	82
Foto 6.6.2-5 – Imagem superior do galpão no lado esquerdo a mancha deixada pelo material percolado.	83
Foto 6.6.2-6 - Manchas deixadas pelo material, ao fundo tem-se o condomínio.	83
Foto 6.6.2-7– Localização dos poços encontrados na área.	84
Foto 6.6.2-8– procedimento de amostragem detalhe para o filtro 0,45 micrometros para metais e ao lado localização do PT-02.	84

ANEXOS

ANEXO I – Resumo Aprovado 46º Congresso Brasileiro de Geologia - 1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

ANEXO II – Relatório de sondagem de simples reconhecimento SPT (NBR 6484/01)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. JUSTIFICATIVAS	3
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
4.1 LOCALIZAÇÃO	4
4.2 GEOLOGIA REGIONAL	6
4.3 GEOMORFOLOGIA	9
4.4 CLIMA	12
4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	16
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CHUMBO	19
5.1.1 Fontes naturais de chumbo	19
5.1.2 Fontes antrópicas de chumbo e impactos ambientais	21
5.2 CHUMBO NA ATMOSFERA	26
5.3 GEOQUÍMICA DE SOLOS TROPICAIS	31
5.3.1 Ocorrência e dinâmica do chumbo em solos tropicais	32
5.4 HIDROGEOQUÍMICA DO CHUMBO	37
5.5 CINÉTICA E TOXICOLOGIA DO CHUMBO	41
5.6 PRESERVAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	43
5.7 ANÁLISES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	44
6. METODOLOGIA	47
6.1 LIMITAÇÕES	49
6.2 REAVALIAÇÃO DOS DADOS DA CONSULTORIA	50
6.3 PROCEDIMENTOS REALIZADOS EM CAMPO	53
6.3.1 Sondagens para caracterização geológico-geotécnica e coletas de solo	53
6.4 OBTENÇÃO DE DADOS HIDRÁULICOS DO AQUÍFERO LOCAL	62
6.4.1 Potenciometria	62
6.4.2 Condutividade hidráulica (k)	63
6.4.3 Determinação da velocidade de fluxo das águas subterrâneas	64

6.5	OBTENÇÃO DE DADOS FÍSICO-QUÍMICOS E AMOSTRAGEM	65
6.5.1	Amostragens de águas subterrâneas	65
6.6	AQUISIÇÃO DE DADOS COMPLEMENTARES	73
6.6.1	Sondagem e análises do solo	73
6.6.2	Amostragem de águas subterrâneas	78
6.7	PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS	85
6.7.1	Procedimentos laboratoriais realizados pela consultoria	85
6.7.2	Procedimentos laboratoriais de complementação aos estudos	86
7.	RESULTADOS	89
7.1	HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO	89
7.2	REAValiação GEOQUÍMICA AMBIENTAL	95
7.2.1	Aspectos geológico-Geotécnicos locais	95
7.2.2	Aspectos químicos do solo	102
7.3	CONDIÇÕES HIDRÁULICAS DO AQUÍFERO	105
7.4	CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO AQUÍFERO	109
7.4.1	Condições aquíferas da área de estudo	109
7.4.2	Condição aquífera do terreno abandonado	116
8.	DISCUSSÃO	119
8.1	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E AQUÍFERA LOCAL	119
8.2	ANÁLISE CRÍTICA DAS AÇÕES EMPRESARIAIS	122
9.	CONCLUSÕES	125
10.	RECOMENDAÇÕES	126
11.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Ao início do século XXI, tem-se como característica marcante a busca contínua pela qualidade de vida, essa passa obrigatoriamente pela quantidade e qualidade de um recurso natural essencial em nosso planeta: a água. Dada sua importância de constituir elemento fundamental às necessidades humanas, nas três últimas décadas, a problemática da contaminação das águas subterrâneas, bem como da conservação do solo, principalmente nos países industrializados, tem sido de grande relevância.

No mundo, de forma geral, as formações geológicas contendo água subterrânea adequada para o consumo (aquíferos), encontram-se cada vez mais em perigo em decorrência de contaminação. As fontes são diversas, no entanto, pode-se dizer que estas abrangem as principais atividades do homem sobre a superfície terrestre tais como: urbanização, desenvolvimento industrial, atividades agrícolas e mineração (FOSTER *et al.*, 2006).

O meio urbano, dado o panorama diverso de atividades, apresenta grande potencial para a contaminação dos aquíferos. Dentre os contaminantes que podem alterar a qualidade ambiental e por sua toxicidade causar sério dano ao homem, tem-se o chumbo. Devido a sua larga utilização, principalmente pelo setor industrial, o chumbo constitui em um dos contaminantes mais comuns do ambiente sendo inserido através das descargas de efluentes de indústrias de acumuladores (baterias), eletrodeposição, metalurgia e também sendo ainda utilizado, indevidamente em tintas, tubulações e acessórios a base de chumbo (SAVAZZI, 2008).

Naturalmente, a ocorrência do chumbo está relacionada à dinâmica dos compartimentos no qual está inserido. Assim, torna-se necessária a identificação da distribuição bem como das formas que o metal é dissolvido em meio aquoso ou adsorvido nas partículas do solo. Entender tais características é fundamental para verificar os fatores que controlam sua mobilidade e disponibilidade para o meio subterrâneo (VEIGA, 2009).

2. OBJETIVOS

A presente dissertação tem por objetivo avaliar as condições e implicações da distribuição do chumbo em uma área urbana, no município de Taboão da Serra, cuja origem foi considerada incerta diante de diversos estudos realizados por uma empresa de consultoria ambiental.

Com o desenvolvimento deste estudo, pretende-se ainda, analisar as ações da empresa diante o problema ambiental, bem como, avaliar o comportamento do chumbo na água subterrânea local quanto aos fatores geológicos e físico-químicos que produziram a sua ocorrência e presença em meio aquoso.

3. JUSTIFICATIVAS

As prerrogativas iniciais para o estudo sobre o chumbo quer pela sua importância econômica ou ambiental, pode abranger muitos aspectos. Sua análise, em qualquer foco, inclui sua origem, distribuição, interações bem como suas devidas consequências, a dissertação aqui proposta refere-se à análise sob o enfoque ambiental cuja importância tem ganhado crescente destaque. Dados atualizados da CETESB, órgão ambiental do Estado de São Paulo, apontam que, em todo o Estado, 4.572 áreas estão contaminadas ou sob investigação ambiental (CETESB, 2012). Este número tem aumentado desde 2002, quando a primeira lista de áreas contaminadas foi divulgada.

Embora a grande parte da contaminação ainda seja oriunda de combustíveis líquidos e solventes aromáticos, 668 áreas estão contaminadas por metais (CETESB, 2012). Embora a quantidade de áreas contaminadas por chumbo não conste na lista de forma discriminada, assim como os outros metais, chama a atenção o fato de muitas dessas áreas apresentarem como fonte de contaminação uma designação, desconhecida. Não raros alguns estudos realizados por consultorias, encontram certa dificuldade em delimitar ou mesmo de identificar a, ou as fontes de contaminação.

No caso aqui proposto, trata-se de um problema encontrado em análises de amostras de águas subterrâneas realizada pela empresa de consultoria BTX-Geologia e Meio Ambiente LTDA, onde o chumbo tem-se apresentado, desde 2008, de forma disseminada, anômala e sem uma fonte de contaminação aparente em um terreno, hoje um condomínio residencial.

A dissertação também contribui para o entendimento do comportamento do íon chumbo em meio aquoso, bem como fornece uma interpretação de aspectos geoquímicos de seu comportamento no solo. Assim, a presente dissertação busca ainda compreender as ações empresariais em termos do problema do chumbo em meio aquoso que ocorre em grande parte das consultorias ambientais.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

Criada a partir da fragmentação da comarca de Itapeverica da Serra, Taboão da Serra, assim como muitas cidades próximas à capital paulistana, apresenta-se adjacente a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Com uma área de 20,48 km² e com uma população de 249.353 habitantes, o que resulta em uma densidade de 12.175,44 hab/km² (SEADE, 2011), Taboão da Serra caracteriza-se como uma cidade estritamente urbana, ocupando sob o ponto de vista geográfico, a sub região sudoeste da RMSP.

A região está inserida no contexto hidrográfico de duas sub-bacias hidrográficas: a do córrego Poá situada à direita da rodovia Régis Bittencourt, no sentido capital interior e abrange cerca de 2/3 da região e a sub-bacia do córrego Pirajussara, ocupando a porção esquerda da rodovia. Muito embora o córrego Poá tenha uma maior área de drenagem, o córrego consiste em um afluente do córrego Pirajussara, importante tributário do Rio Pinheiros (BOUCINHAS, 2006).

Característico de municípios com pequenas áreas disponíveis à ocupação, Taboão da Serra apresenta um povoamento intenso e desordenado. A proximidade com a Região Metropolitana de São Paulo contribuiu para que a ocupação seguisse basicamente duas características: a primeira de cidade dormitório, facilitando o fluxo de pessoas de uma região para outra e em seguida, com os anos, devido a localização junto a rodovia Régis Bittencourt, fixação de núcleos industriais (ARAÚJO, 2010).

A seguir, **Figura 4.1-1**, é apresentada a localização das áreas correspondentes as sub-bacias hidrográficas no contexto da Região Metropolitana de São Paulo, bem como da cidade de Taboão da Serra.

Em destaque na figura, no retângulo vermelho, tem-se a localização aproximada da área sob estudo localizada na rua Alberto José, em um terreno de aproximadamente 2.700 m² no bairro Jardim Saleté, atualmente um condomínio residencial.

Região Metropolitana de São Paulo

Figura 4.1-1 - Localização aproximada da Área de Estudo em Taboão da Serra.

FONTE: Adaptado de (ARAÚJO, 2010)

4.2 GEOLOGIA REGIONAL

O Estado de São Paulo apresenta-se assentado sobre grande diversidade litológica, sua evolução constitui característica fundamental na compreensão da dinâmica que existiu e que influência na configuração geológica presente na região e, em maior escala, na Plataforma do Continente Sul-Americano (ALMEIDA; HASUI; NEVES, 1976). Em São Paulo, o registro litológico, muito embora não apresente de forma continua o tempo geológico, é notadamente extenso com rochas representativas do Arqueano ao Holoceno (IPT, 1981a).

Quanto a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), tem-se que a partir da década de 80 estudos geológicos se tornaram frequentes em função do maior interesse na região, nesse contexto, diversos estudos são conduzidos abordando diversos aspectos dentre os quais podem se destacar o aumento da ocupação do terreno urbano, acidentes geológicos e obras. Estes temas foram largamente debatidos em diversos eventos técnicos e científicos (RODRIGUEZ, 1998). Até então, as investigações geológicas anteriores a década de 80 pretendiam, na maior parte, a obtenção de informações relativas a recursos minerais, cujas primeiras referências datam da época do Brasil Colonial (JULIANI, 1993).

O arcabouço geológico da região metropolitana está localizado sobre o contexto geológico-tectônico do Rift Continental do Sudeste do Brasil. Segundo Hasui *et al.* (1975), trata-se de um terreno policíclico também conhecido como faixa ou Cinturão de Dobramentos Ribeira. Para Riccomini (1989), a formação da depressão original do Rift, ocorreu em função do basculamento termomecânico da Bacia de Santos quando da abertura do Oceano Atlântico, segundo o autor, o evento teria gerado esforços tracionais de direção NNW-SSE.

O embasamento do Rift é constituído basicamente por rochas metamórficas de baixo grau, migmatitos e suítes graníticas. As idades abrangem do arqueano ao neoproterozóico, para as porções metamorfizadas, e neoproterozóicas para as intrusões graníticas (JANASI; ULBRICH, 1991). Sobre o embasamento, ocorrem sedimentos cenozóicos, segundo Riccomini (1989), compostos por sistemas de

leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, que nas Bacias de São Paulo e Taubaté, recebem a denominação de Formação Resende.

Concernente a presente dissertação, é dada principal relevância aos aspectos geológicos que dizem respeito às rochas Pré-Cambrianas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), cuja área de estudo se encontra inserida. O conhecimento do Pré-Cambriano da RMSP constitui notada relevância em virtude da grande e crescente ocupação urbana que quase sempre avança rumo às regiões serranas. Nessas áreas, a fragilidade do solo conduz a eventos geotécnicos de graves consequências (ABAS; ABGE; SBG/SP, 1992).

A figura, apresentada abaixo, mostra que a região do município de Taboão da Serra está inserida no contexto geológico onde são predominantes rochas que compõem o embasamento cristalino. Na figura, ainda é verificada que a área de estudo, localizada junto à borda WSW da Bacia Sedimentar de São Paulo, está comprimida entre duas suítes graníticas, limitando o contexto geológico local da área em questão a ocorrência de rochas representativas do Complexo Embu.

Essas rochas que constituem o Complexo Embu e todo o arcabouço geológico central da RMSP são limitados a norte pelas falhas de Jaguari e Taxaquara e a sul pela falha de Cubatão, a litologia do Complexo Embu é marcada por diversos tipos de rochas tais como: xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados, corpos lenticulares de quartzitos, anfibolitos e rochas calciossilicatadas (RODRIGUEZ, 1998). Encontra-se ainda, em contato com sedimentos Terciários e Quaternários, onde também ocorrem sedimentos aluvionares ao longo das principais drenagens.

Figura 4.2-1 - Geologia da Região Metropolitana de São Paulo
FONTE: Adaptado de (RODRIGUEZ, 1998)

4.3 GEOMORFOLOGIA

A sociedade apresenta-se organizada sobre uma base física e que a disposição do sítio urbano influencia fortemente a disposição ou arranjo das construções. E que os tipos de fenômenos deflagrados sobre o relevo estão intimamente relacionados aos fatores temporais, sociais e a forma de ocupação deste sítio (ARAÚJO, 2010).

Para Almeida (1964), a forma atual do relevo corresponde ao produto da interação entre os processos endógenos, como a orogênese e seu respectivo ataque pelos agentes do intemperismo. Ainda segundo os autores, a interação entre esses fatores atuam por toda a Terra e que as características físico-químicas particular de cada área desempenharão papel fundamental para o modelamento de cada paisagem. O relevo é, portanto, o suporte físico natural em que basicamente tudo está assentado e superfície essencial na qual se dá as atividades mais básicas da humanidade.

No Estado de São Paulo, o tema tem sido estudado por muitos anos e por diversos autores que, a muito vem ou vieram, a contribuir significativamente para o entendimento e evolução dos principais aspectos do relevo paulista. Esses autores trataram do reconhecimento dos principais fatores da estruturação do relevo como: clima, vegetação, hidrografia, características geotécnicas e processos morfogenéticos em geral para que se fosse sistematicamente setorizada regiões para ocupação territorial, recursos naturais, uso do solo, etc. O primeiro trabalho, com vistas à subdivisão do relevo foi realizado por Moraes Rego em 1932, nesse trabalho foram definidas algumas grandes unidades fisiográficas como o Planalto Ocidental e a Depressão Periférica (IPT, 1981b).

A partir desse primeiro trabalho, muitos outros foram desenvolvidos como dito anteriormente, dentre os quais podem ser citados: Deffontanes (1935), Ab'Saber (1956), Ab' Saber e Bernardes (1958), entre outros. Na **Figura 4.3-1**, é apresentada a compartimentação do relevo do Estado, bem como a localização de Taboão da Serra.

Figura 4.3-1 - Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo.
FONTE: Adaptado de (ALMEIDA, 1964).

Atualmente entende-se que o relevo do Estado de São Paulo está inserido em duas ordens principais de fatores; o litoestrutural e o climático. Conforme indica o texto de IPT, 1981b apresentado brevemente abaixo:

[...] do primeiro ponto de vista tem-se que a geologia levou ao desenvolvimento de uma compartimentação clássica de áreas cristalinas adjacentes a bacias sedimentares: a denudação dos maciços antigos e a resistência dos derrames basálticos, em relação aos sedimentos paleozoicos de cobertura, levaram à elaboração de uma depressão periférica, sucedida por um relevo de custas, e por um planalto a ocidente do reverso das cuestas. A tectônica teve por função orientar muitas direções de entalhe, e de dar a todo esse conjunto um caráter de erosão e remoção de detritos bastante vigorosos, mercê de marcada epirogênese ascensional.

Os fatores climáticos deixaram sua marca especialmente na elaboração das superfícies de erosão, dispostas em diversos níveis e, evidentemente, na atual repartição dos processos morfogenéticos. Sua compreensão é dificultada pela pouca preservação de depósitos correlativos, provavelmente relacionados à facilidade de escoamento de detritos, bem como pela laterização universal, característica da faixa climática tropical úmida (IPT, 1981b, p. 13).

O município de Taboão da Serra apresenta-se sob contexto geomorfológico dos terrenos cristalinos que englobam a Bacia Sedimentar de São Paulo, principalmente as porções oeste, sul e leste. Corresponde a zona do Planalto Atlântico, sub-zona das colinas de São Paulo e das Morrarias de Embu, tal domínio tem sua gênese relacionada ao cinturão orogênico do Atlântico, cujo desenvolvimento associa-se a vários ciclos de dobramentos, por vezes, somados a eventos metamórficos de caráter regional, falhamentos e grandes intrusões (IPT, 1981a). Nessa região são observados níveis em que a topografia apresenta-se elevada configurando-se em escarpas e morrarias notadamente arrasadas por conta do clima tropical (ARAÚJO, 2010).

O Jardim Salete, bairro onde a área está situada, apresenta diversos morros, morrarias, conforme Araújo (2010). Estes apresentam declividade pouco acentuada devida intervenções de terraplanagem e obras de melhorias de vias e acessos.

A vegetação, assim como em quase todo o município, está restrita a umas poucas áreas, frequentemente ao longo dos rios e córregos que drenam a região.

4.4 CLIMA

Nas ciências da Terra o clima é usualmente distinto do que comumente é chamado de tempo, bem como entre meteorologia e climatologia (AYOADE, 1991). Basicamente entende-se por tempo o estado médio da atmosfera numa dada porção de tempo e em determinado lugar. A caracterização do clima ou climática de determinada região é realizada baseando-se na análise de uma série de dados dos elementos do clima, como os ventos, as chuvas ou pluviometria, a radiação solar, entre outros, durante longos períodos de tempo. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) é recomendado para o estabelecimento de uma correta caracterização climática o período mínimo de 30 anos (TAVARES, 2009).

Embora as conceituações tenham as diferenças respectivas que cada área, é consenso de que tanto o tempo quanto clima podem ser considerados como consequências ou a resposta da ação complexa dos processos que ocorrem entre atmosfera, oceanos e relevo.

A classificação do clima tem por objetivo caracterizar em uma grande área ou região zonas com características climáticas com a menor variação possível quase que homogêneas. A classificação do clima também pode ser feita para localidades restritas, levando-se em conta tanto as características da paisagem natural local (vegetação zonal), como também os índices climáticos (baseados nas normais climatológicas) obtidas em banco de dados de órgãos responsáveis pela obtenção dos respectivos dados (MARTINELLI, 2010).

A partir dos valores médios anuais ou mensais de temperatura e precipitação uma primeira classificação de escala mundial proposta foi a de Wladimir Peter Köppen, geógrafo, meteorologista, climatólogo e botânico alemão. Sua classificação não levava em conta causas como, pressão, ventos, massas de ar, frentes ou tempestades sendo, portanto, uma classificação abrangente, mas que fornece subsídios fundamentais à climatologia até os dias de hoje (MARTINELLI *op. cit.*).

No Estado de São Paulo, dado seu relevo, relativamente rugoso, posição geográfica e influenciado por diversas massas de ar, é verificada grande diversidade climática. O último mapeamento dos tipos de clima para o Estado de São Paulo, usando o Sistema de Classificação Climática (SCC) de Köppen, fora realizado por (SETZER, 1966). Segundo esses dados, o Estado apresenta 7 tipos climáticos sendo o Cwa, tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, o tipo climático predominante.

No **Quadro 4.4-1**, é apresentada uma chave esquemática para a classificação climática de Köppen para o Estado de São Paulo.

Quadro 4.4-1 - Chave para classificação climática de Köppen

Temperatura média Normal		Total de chuva do mês mais seco	Total de chuva anual	Descrição do Tipo de Clima segundo Köppen (Climas Úmidos)		Símbolo	
do mês mais frio	do mês mais quente						
> = 18 °C	> = 22 °C	> = 60 mm		TROPICAL		sem estação seca	Af
		< 60 mm	< 2500 - 27,27.			Inverno Seco	Aw
			> = 2500 - 27,27.	TROPICAL com chuvas excessivas	Am		
< 18 °C		< 30 mm		SUBTROPICAL	Quente		Cwa
	< 22 °C				Temperado	Cwb	
	> = 22 °C	> = 30 mm			Quente	Cfa	
	< 22 °C				Temperado	sem estação seca	Cfb

FONTE: (adaptado de SETZER, 1966).

Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura – CEPAGRI – a classificação de Köppen para a região de Taboão da Serra, assim como para a maioria das cidades do Estado de São Paulo, principalmente as cidades da porção central do Estado, é o tipo climático Cwa, cujas características foram descritas acima.

Na **Figura 4.4-1**, é apresentado um panorama climático do Estado de São Paulo e no detalhe a região de Taboão da Serra.

□ Localização de Taboão da Serra, junto a Região Metropolitana de São Paulo apresentando, conforme a figura, o tipo climático Cwa.

Figura 4.4-1 - Compilação dos Tipos Climáticos para o Estado de São Paulo.

FONTE: Adaptado de (MIRANDA *et al.*, 2012).

Ainda segundo o CEPAGRI, a classificação obtida, corresponde a normal climatológica de 1961 a 1990 para os dados de chuvas e estimativas das médias de temperatura para o mesmo período, conforme é apresentado no **Quadro 4.4-2**:

Quadro 4.4-2 – Dados para série de Normal climatológico de Taboão da Serra (1961 a 1990).

MÊS	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA (mm)
	mínima média	máxima média	média	
JAN	17,6	28,7	23,1	205,2
FEV	17,8	28,7	23,3	185,3
MAR	17	28,2	22,6	151
ABR	14,3	26,2	20,2	82
MAI	11,5	24,2	17,8	68,5
JUN	9,9	23	16,4	52,7
JUL	9,4	23,1	16,2	41,9
AGO	10,6	24,9	17,7	33
SET	12,5	25,9	19,2	68,1
OUT	14,2	26,6	20,4	107,6
NOV	15,3	27,5	21,4	114,6
DEZ	16,8	27,7	22,2	142,7
Ano	13,9	26,2	20	1252,6
Min	9,4	23	16,2	33
Max	17,8	28,7	23,3	205,2

FONTE: (CEPAGRI, 2013).

A caracterização das chuvas, suas intensidades e distribuição são elementos fundamentais ao entendimento da dinâmica temporal e sua relação ou não a contaminação verificada na área, conforme ATSDR (1999) o chumbo apresenta uma rápida permanência na atmosfera sendo a chuva agente fundamental na sua remoção.

A partir dos dados de chuvas contidos no quadro 4.4-2, foi elaborado o Gráfico a seguir onde é possível verificar a pluviometria em Taboão da Serra. A distribuição das chuvas ao longo de um ano, embora correspondente a uma média, tem-se que as maiores contribuições ocorrem nos meses de outubro a março.

Gráfico 4.4-1 - Distribuição média das chuvas da série da Normal Climatológica (1961 a 1990)

FONTE: (CEPAGRI, 2013).

4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Foi a partir do domínio do fogo que o homem inicia a grande caminhada no domínio dos processos naturais e passam a modificar a superfície da Terra. O processo histórico de ocupação global revela que cerca de 10.000 anos atrás a população mundial correspondia a 5 milhões de habitantes, ao início da era cristã, 250 milhões e 1 bilhão em 1850 (CORDANI; TAIOLI, 2000). Atualmente sabe-se que a população tem-se mantido com uma alta taxa de crescimento e que a ocupação de novas áreas tem-se intensificado cada vez mais.

Dada à pressão ocupacional sobre a região de Taboão da Serra, era de se esperar que se fossem tomadas medidas institucionais que subsidiassem um aproveitamento mais seguro e criterioso do espaço urbano. Assim, com a mudança de gestão municipal no período de 2004/2005 foi iniciado um trabalho que culminou com a aprovação, em 10 de Outubro de 2006, do Plano Diretor Municipal (PDM). O planejamento de um PDM constitui de um atendimento a uma determinação normativa prevista na Constituição Federal, artigos 182º e 183º, regulamentados por meio da Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, Estatuto da Cidade.

O plano em questão foi elaborado sob a coordenação da Secretaria Municipal de Habitação e contou com a participação popular, conforme preconizado no artigo 2º inciso II e contou ainda com a assessoria da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU, da USP através do professor Nabil. É importante ressaltar que a não aprovação do documento poderia vir a causar prejuízos a Taboão da Serra principalmente por ser esse um dos critérios para o recebimento de recursos do governo federal (ARAÚJO, 2010). Segundo o documento, a área em estudo está inserida no contexto da ZI- Perímetro das Zonas Industriais. Segundo Araújo (2010), as regiões em que é marcante o adensamento populacional, estão situados na porção sudoeste junto a divisa com o município de Embu, ainda segundo o autor, a ocupação tem-se intensificando de forma desordenada sendo ainda criados novos bairros como: vila Indiana, São Judas, Jardim Salete, etc.

O entorno de 300 metros da área de estudo apresenta a norte uma empresa de aluguel de banheiros químicos, a metalúrgica (peças de bicicletas) Thor, comércios e residências. Na porção nordeste observam-se comércios e residências.

A porção leste é formada por um terreno vazio, comércios e residências. A sul observam-se uma antiga indústria, comércios e residências, e a sudoeste observam-se comércios e residências, além de uma fábrica de asfalto.

A parte oeste é composta por uma escola e um posto de saúde, comércios e residências, e a noroeste pela empresa Saborama (alimentícia), comércios e residências. Na **Figura 4.5-1**, é apresentado o detalhamento do uso e ocupação da área conforme descrito acima.

Figura 4.5-1 - Uso e ocupação do entorno imediato a área de estudo.
FONTE: Adaptado de (ARAÚJO, 2010 e FIT, 2010).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CHUMBO

O chumbo é um metal pesado de símbolo químico Pb (do latim plumbum), de número atômico 82 e peso 207,2 u. Na crosta terrestre, ocorre naturalmente com uma concentração média de 12,5 mg/kg (LENZI, 2009). Apresenta-se como um metal cinza-azulado, pouco rígido, maleável, dúctil, pobre condutor de eletricidade e muito resistente à corrosão. Possui ponto de fusão da ordem de 324°C, muito baixo para os metais (ALLOWAY, 1995).

Trata-se de um elemento calcófilo (pouca afinidade com o oxigênio), baixa mobilidade no ambiente oxidante, em meio ácido, neutro e alcalino. Em ambiente redutor, torna-se imóvel devido reação com sulfetos. Outras características no meio incluem a formação de sais com ácidos orgânicos, ácidos lácticos e acéticos, além de formar compostos orgânicos estáveis, tais como: chumbo tetraetílico e chumbo tetrametilico (MALAVOLTA, 1994).

Possui cinco principais associações com outros elementos calcófilos, principalmente em depósitos sulfetados de origem vulcanogênica. Com Ba e K em feldspatos potássicos; com Al, Ag, As, Au, Bi, Cd, Mo, Ni, Sb, V e Zn em folhelhos pretos; com Cu, S, Mo, Au, Ag, Re, As, Zn e K em depósitos hidrotermais de cobre pórfiro; e com Zn, Cu, S, Ag, Au, As, Sb e Mn em mineralizações hidrotermais nos granitos mantélicos (LOPES Jr., 2005).

As maiores contribuições antropogênicas de chumbo no meio ambiente ocorreu devido à larga utilização de chumbo tetraetílico quando utilizado como aditivo na gasolina, tendo sua substituição no Brasil ocorrida em 1980 pelo álcool (TAVARES, 1990).

5.1.1 FONTES NATURAIS DE CHUMBO

No meio ambiente, de forma geral, o chumbo raras vezes se encontra em seu estado elementar sendo seu mineral mais comum a galena (PbS). Em ambientes

mais restritos, ocorre na forma de carbonato (cerussita) e sulfato (anglesita) (LOPES Jr., 2005).

No quadro baixo são apresentados os principais minerais de chumbo, suas características principais e associações.

Quadro 5.1.1-1 - Fontes Naturais de Chumbo.

Fontes Naturais de Chumbo		
Minerais	Características	Associações
Galena (PbS)	Sulfeto metálico muito comum, encontrado em veios associados a diversos minerais. É também encontrada em depósitos originados por metamorfismo de contato, em pegmatitos e em disseminações em rochas sedimentares.	Esfarelita (ZnS), pirita (FeS ₂), marcasita (FeS ₂), calcopirita (CuFeS ₂), cerussita (PbCO ₃), anglesita (PbSO ₄), dolomita (CaMg(CO ₃) ₂), calcita (CaCO ₃), quartzo, (SiO ₂) barita (BaSO ₄) e fluorita (CaF ₂).
Anglesita (PbSO₄)	Mineral supergênico comum em porções oxidadas de depósitos de chumbo.	Galena (PbS), cerussita (PbCO ₃), esfarelita (ZnS), smithsonita (ZnCO ₃), hemimorfita (Zn ₄ (Si ₂ O ₇)(OH) ₂ .H ₂ O) e óxidos de ferro.
Cerussita (PbCO₃)	Mineral de chumbo amplamente distribuído formado pela ação de águas carbonáticas na galena.	Minerais primários galena e esfarelita e vários minerais secundários, como anglesita (PbSO ₄), piromorfita (Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl), smithsonita (ZnCO ₃) e limonita.
Phosgenita (Pb₂CO₃Cl₂)	Espécie similar a cerussita, sendo um carbonato raro.	-----
Crocoíta (PbCrO₄)	Mineral raro encontrado em zonas oxidadas de depósitos de chumbo em regiões onde os veios de chumbo apresentam-se transversos a rochas contendo cromita.	Piromorfita (Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl), cerussita (PbCO ₃) e wulfenita (PbMoO ₄).
Litarge (PbO)	Óxidos de chumbo.	-----
Minium (Pb₃O₄)	Óxidos de chumbo.	-----
Piromorfita (Pb₅(PO₄)₃Cl)	Mineral supergênico encontrado em porções oxidadas de veios de chumbo	Minerais oxidados de chumbo e zinco.
Mimetita (Pb₅(AsO₄)₃Cl)	Mineral isoestrutural à piromorfita, sendo similar em aparência, ocorrência e na maioria das propriedades físicas e químicas.	-----
Vanadinita (Pb₅(VO₄)₃Cl)	Mineral secundário raro encontrado em porções oxidadas de veios de chumbo.	Minerais secundários de chumbo.
Wulfenita (PbMoO₄)	Encontrada em porções oxidadas de veios de chumbo.	Cerussita (PbCO ₃), vanadinita (Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl) e piromorfita (Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl). É uma fonte menor de molibdênio.
Fonte: (SOARES FILHO, 1990).		

5.1.2 FONTES ANTRÓPICAS DE CHUMBO E IMPACTOS AMBIENTAIS

Dadas suas características físicas, o chumbo foi largamente usado como metal estrutural desde tempos antigos, para proteger construções contra intempéries e em tubulações de água (BAIRD; CANN, 2011). Também foi muito utilizado na indústria automobilística, em soldas, em baterias de carro, como agente antidetonante de combustíveis, na manufatura de cabos (devido a sua ductilidade), pigmentos, tubos, munição para armas e chumbada para pesca, vernizes e ligas com Cu, Sn e Sb (ALLOWAY, 1995).

O óxido de chumbo (PbO) é utilizado para esmaltar cerâmicas, sendo aplicado como um filme fino na superfície da peça para conferir resistência e brilho. A lixívia do chumbo das cerâmicas esmaltadas usadas para preparar alimentos é uma das fontes mais importantes de contaminação por chumbo, em crianças no México, constituindo-se em grave problema de saúde pública (BAIRD; CANN, 2011).

O chumbo também está presente nos pigmentos, fornecendo cores estáveis e brilhantes. O pigmento amarelo, cromato de chumbo (PbCrO_4), é utilizado na pintura de faixas das estradas, o pigmento vermelho (Pb_3O_4) é utilizado em tintas resistente à corrosão e o pigmento branco [$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$] foi amplamente utilizado como componente de tintas na pintura de paredes, sendo posteriormente banido em vários países (CETESB, 2012).

A aplicação do chumbo como aditivo na gasolina, se deu principalmente sob a forma de compostos orgânicos tetraivalentes, o que acarretou sérias consequências ambientais. O principal objetivo desse uso do chumbo, diz respeito ao aumento de octanagem à gasolina, ou seja, aumentar seu rendimento e comportamento (LENZI, 2009). Os compostos mais importantes são os tetraalquilas, PbR_4 , especialmente aqueles nos quais o R é o grupo metila (CH_3) e o grupo etila (CH_2CH_3), chamado chumbo de tetrametila $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ e chumbo de tetraetila $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, respectivamente (BAIRD; CANN *op. cit.*).

Estes compostos de chumbo apresentam alta volatilidade, com isso evaporam da gasolina em certa extensão, tornando-se disponíveis para o ambiente na forma

gasosa. Não são solúveis em água, mas, no entanto, são absorvidos pela pele e órgãos. No fígado humano, por exemplo, as moléculas de PbR são convertidas em uma forma mais tóxica, íons PbR^{3+} , neurotoxinas que podem atravessar a barreira sangue-cérebro (BAIRD; CANN, 2011), causando sérios danos ao sistema nervoso central.

O chumbo também esteve presente em pesticida na forma de arsenato de chumbo $\text{PbH}(\text{AsO}_4)$, sendo umas das primeiras fontes de contaminação ambiental.

Muito embora o chumbo elementar não apresente um problema ambiental para muitas formas de vida, ele torna-se uma preocupação real a partir do momento em que se dissolve no meio dando origem à forma iônica, Pb^{2+} (BAIRD; CANN *op. cit.*). O chumbo utilizado na solda de latas de estanho, por exemplo, que continham suco ou produtos ácidos, se dissolvia ao entrar em contato com o ar, sendo ingerido por crianças e adultos.

Segue abaixo uma listagem de algumas fontes industriais de chumbo:

- Fundições Primárias (refino de minério de chumbo) e Secundárias (fusão de sucatas ou barras de chumbo para fins variados);
- Produção de ligas (bronze, latão);
- Fabricação e recuperação de baterias;
- Esmaltação de cerâmicas;
- Fabricação de PVC e outros plásticos;
- Indústria de borracha;
- Fabricação de cabos elétricos (elemento dielétrico);
- Solda eletrônica ($\text{Sn} + \text{Pb}$);
- Produção de compostos orgânicos de chumbo (BAIRD; CANN *op. cit.*) e (ALLOWAY, 1995).

Fontes de contaminação por chumbo no ambiente incluem impactos de ampla distribuição, como disposição de baterias, resíduos de tintas tendo o elemento chumbo como base do pigmento, em aterros e rejeitos de atividades mineiras onde o chumbo era o elemento do processo de extração. Ocorrências mais esparsas de chumbo têm sido associadas com aerossóis de gasolina contendo chumbo e

fundições e lixiviação de tintas com base de chumbo de prédios (BAIRD; CANN, 2011).

Em um grande estudo realizado em aquíferos na Flórida, Katz *et al.* (1999), verificaram que há diversos fatores que podem controlar as elevadas ocorrências de chumbo na área. No estudo, cerca de 2.180 poços de monitoramento, que compõe a rede de monitoramento da qualidade da água subterrânea da Flórida, foram amostrados de forma a se obterem valores de *background* ou *baseline* para os sistemas aquíferos Biscayne, Superficial, Intermediário e o Sistema Aquífero Flórida. A aquisição de dados não ficou restrita a amostragem das águas subterrâneas tendo sido analisado todos os elementos que direta ou indiretamente poderiam contribuir com a contaminação (KATZ *et al.*, 1999).

Quanto à metodologia de análise, foram feitas coletas para chumbo Total e dissolvido previamente filtradas e análises por ICP-OES, além de isótopos. Assim, análises químicas foram realizadas nos seguintes materiais:

➤ **Materiais de construção dos poços de monitoramento;**

Para os autores a lixiviação do chumbo que estaria presente na composição dos poços, tais como: ferro negro, PVC e aço; seriam fontes potenciais de chumbo ao aquífero.

➤ **Contrapesos de Chumbo Utilizados em Aparelhos de Medição de Nível D'Água;**

Esse material, constatado pelos autores, também configura entre os materiais potencialmente contaminantes, visto sua utilização na medição do nível de água nos poços. Para verificar as respectivas influências, os poços foram divididos entre os poços que utilizavam os contra pesos e os que não utilizaram os contra pesos.

Segundo os autores as informações sobre as fontes de chumbo nos aquíferos da Flórida são pouco conhecidas, podendo ser de diversas fontes, naturais ou antrópicas, como por exemplo: materiais construtivos, contra pesos, a metodologia de amostragem e deposição atmosférica. Esta última, também tem sido atestada por outros autores, trabalhos como (WHO, 1995), (ATSDR, 1999), (DEUTSCH, 1997),

(FORNARO, 2006) afirmam ser esta forma de ocorrência, uma das fontes de chumbo principalmente em centros urbanos.

De forma a minimizar as incertezas em relação às fontes do chumbo, Katz *et al.* (1999), utilizaram isótopos estáveis para uma análise mais precisa. Para estes autores, a comparação das razões isotópicas de chumbo na água subterrânea, na deposição atmosférica, em contrapesos de chumbo e nos materiais dos poços, evidenciariam as fontes dominantes de chumbo na água subterrânea.

As conclusões obtidas a partir do estudo podem ser resumidas conforme apresentada a seguir:

- **Quanto às condições químicas do aquífero;**

- ✓ O íon chumbo tende a ficar adsorvido em oxi-hidróxidos de ferro (Colóides);
- ✓ A fração de chumbo insolúvel pode estar presente como partículas de carbonato, sulfatos, cloretos, óxidos, hidróxidos e compostos orgânicos;
- ✓ As concentrações apresentaram-se inversamente proporcionais a profundidade dos poços;
- ✓ Houve correlações positivas entre as concentrações do íon chumbo e cloro - sugerindo influência de águas marinhas;
- ✓ A correlação positiva observada entre sulfato (SO_4) e carbono orgânico total (COT) indica a importância do sistema Pb-SO_4 e complexos orgânicos na solubilidade do íon chumbo;
- ✓ Diminuição na solubilidade do íon chumbo com o aumento do pH e alcalinidade devido a formação de compostos de carbonatos e hidróxidos de chumbo.

- **Contrapesos de chumbo em instrumentos de medição;**

- ✓ Basicamente, o estudo conclui que o chumbo presente nas águas subterrâneas provém tanto de fonte antrogênica quanto das condições químicas existentes

em cada aquífero. No aquífero Flórida, por exemplo, a origem do chumbo seria tanto o material do aquífero quanto da corrosão dos contrapesos. No conjunto dos poços sem os contra pesos não fica clara a origem do chumbo apenas inferem quanto a utilização de outros equipamentos de medição.

Outros impactos ambientais ocorridos pelo mundo abrangem, basicamente, passivos ambientais oriundos das atividades de extração e o contato desses passivos com a população local. A seguir, são apresentados alguns desses casos:

➤ **Port Pirie – Austrália**

Nessa localidade, a empresa *Nyrstar* tem sido apontada por causar sérios danos a população e ao meio ambiente. Para Maynard (2003), a metalúrgica é responsável pela produção de 650.000 toneladas de metais. Segundo o autor, exames realizados no sangue da população local têm apontado concentrações elevadas de chumbo, principalmente em crianças.

➤ **China**

Em cerca de 33 províncias, foi constatada a ocorrência de milhares de casos de pessoas expostas a níveis tóxicos de chumbo cuja a principal fonte eram emissões de fábricas de fundição e baterias. Em uma dessas fábricas, na província de Shaanxi, o governo fechou após a constatação do envenenamento de 600 crianças (LA FRANIÈRE, 2011). Países que importam da China também tem verificado a ocorrência de chumbo em produtos como brinquedos e utensílios domésticos. Nesses produtos, o chumbo é encontrado principalmente na tinta utilizada como pigmento (SILVERMAN, 2012).

➤ **Nigéria – Mineração ilegal de ouro**

Segundo levantamento realizado pelo grupo de ajuda humanitária Médicos sem Fronteiras (MSF), cerca de 10 mil pessoas foram afetadas. Essas pessoas trabalhavam nos garimpos a procura de ouro onde também ocorriam outros metais como mercúrio, cobre e chumbo (MSF, 2012).

No Brasil, algumas ocorrências chamam a atenção pela grande repercussão na mídia, pois, assim como nos casos citados acima, causam graves problemas a população, geralmente carente, que, em grande parte, passam anos sob influência do passivo ambiental. Assim, podem ser citados quatro principais trabalhos:

- Caso do Rio de Janeiro, poluição ambiental causada por particulado de chumbo emitido por uma reformadora de baterias (QUITÉRIO *et al.*, 2006);
- Caso da cidade de Bauru, intoxicação por chumbo em crianças (TOMITA; PADULA; GEPICCB, 2005);
- Caso do Estado de Goiás, chumbo inorgânico em suplementos para bovinos (MARÇAL *et al.*, 2004) e
- O caso de Santo Amaro na Bahia, passivo ambiental de uma fundição de chumbo (CARVALHO *et al.*, 2003).

Dentre os trabalhos citados acima, o último apresenta-se como sendo o de maior repercussão. O caso de Santo Amaro da Purificação na Bahia pode ser considerado um dos casos mais alarmantes de contaminação por chumbo no Brasil. Ocorreu entre 1960 a 1993 onde uma subsidiária do grupo multinacional Peñarroya poluiu agressivamente o solo, águas subterrâneas e superficiais da cidade (CARVALHO *et al.*, *op. cit.*).

Segundo um estudo realizado em 1995, concentrações significativas de chumbo e cádmio, afetaram todo o ecossistema ao norte da Baía de Todos os Santos, ao todo o passivo ambiental na região consta de 230 trabalhadores desempregados e aproximadamente 500 mil toneladas de resíduos sólidos disseminados pela área da empresa e pela cidade de Santo Amaro (CARVALHO *et al. op. cit.*, 2003).

5.2 CHUMBO NA ATMOSFERA

A deterioração da qualidade do ar é outro fator marcante na disponibilização de elementos potencialmente tóxicos e não somente ao meio ambiente, mas também a saúde humana. O significativo crescimento ocorrido na industrialização e

a demanda por energia têm alterado a qualidade do ar devido a grandes emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis. Outros gases como: dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), também denominados NO_x , monóxido de carbono (CO) e material particulado em suspensão são também encontrados no meio urbano (FORNARO, 2006). Segundo este autor, as fontes de emissão dos gases poluentes provem das mais diversas fontes, estas fontes podem ser móveis ou estacionárias. Uma vez na atmosfera, esses compostos vão compor as águas das chuvas através de mecanismos dinâmicos e complexos que basicamente envolvem a emissão, o transporte, transformação química e a deposição desses poluentes (FORNARO *op. cit.*).

Estudos realizados com amostras de água da chuva da região metropolitana de São Paulo tem mostrado relação positiva para a interação entre os poluentes atmosféricos e sua contribuição para as águas da chuva, bem como, o dano potencial às águas superficiais e subterrâneas (FORNARO, 1991; FORNARO; GUTZ, 2003; LEAL; FONTENELE; PEDROTTI, 2004).

Na **Figura 5.2-1** é apresentado um esquema com as fontes de poluição atmosféricas mais comuns em centros urbanos, alguns processos e compostos associados.

Figura 5.2-1 - Processos e compostos químicos atmosféricos
FONTE: (FORNARO, 1991).

No **Quadro 5.2-1**, são apresentados alguns resultados de análises da água da chuva de São Paulo em dois períodos, o primeiro de 1983 a 1985 e o segundo entre 2002 a 2003.

Quadro 5.2-1 - Comparação entre valores médios de pH e concentrações médias ponderadas pelo volume ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) de algumas espécies iônicas presentes em águas da chuva de São Paulo.

	Data	pH	Cl^-	NO_3^{3-}	SO_4^{4-}	Na^+	NH_4^{4+}	NO	Ref.
São Paulo	10/1983 - 10/1985	5	16,6	30	24	10	20	37,8	(FORT <i>et al</i> apud FORNARO, 2006)
	7/2002 -2/2003	4,99	8,54	21,2	12,4	15	5,33	37,6	(LEAL; FONTENELE; PEDROTTI, 2004)

Na atmosfera, o chumbo é mais comumente encontrado na forma de partículas, que uma vez em suspensão são transferidas aos compartimentos por meio de deposição seca ou úmida. De acordo com dados da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), afirmam que a deposição por via úmida seria a forma mais eficiente de remoção do chumbo da atmosfera correspondendo a cerca de 40 a 70% (WHO, 1995). Para Lenzi (2009), em 1981 o chumbo era o quinto elemento em produção mundial de metais, ficando atrás apenas do Fe, Cu, Al e Zn. Segundo o autor, sua utilização na gasolina o torna um dos poluentes antrópicos mais espalhados no mundo. As reações apresentadas a seguir mostram como o processo de poluição atmosférica pela utilização da gasolina com chumbo ocorre:

Tão logo a gasolina é consumida, o chumbo também é consumido, levando a outra reação:

Nessa reação, o óxido de chumbo formado ($\text{PbO}_{(\text{p})}$), é lançado para a atmosfera permanecendo até que seja removido por algum agente como a precipitação (deposição úmida) ou deposite por força da gravidade (deposição seca).

O chumbo apresenta uma rápida residência na atmosfera, sendo os fatores de localização geográfica e nível de emissão local elementos fundamentais a sua remoção (ATSDR, 1999). Segundo estudo realizado pela USEPA (U.S. *Environmental Protection Agency*), cerca de 410 mil toneladas/ano de chumbo são depositados no mundo tanto por via seca quanto por via úmida. Este dado leva em consideração fatores físicos como a velocidade do vento e o contorno geomorfológico do relevo (WHO, 1995).

Segundo ATSDR (1999), os processos industriais tais como refinamento de chumbo primário (atividade mineradora) e secundário (descarte de baterias e aditivos antidetonantes de combustíveis), correspondem a maior fonte de compostos orgânicos de chumbo. No Brasil, ainda que não haja instrumento legal específico restringindo a utilização do chumbo de tetraetila, principal forma orgânica utilizada na gasolina, a Lei nº 7.823/93 estabeleceu a obrigatoriedade da utilização de etanol como aditivo na gasolina, o que inviabilizou o uso do chumbo ao combustível dado o risco de danos aos componentes dos motores (NEDER; COTTA, 1999). A respeito das emissões por veículos automotores, por exemplo, e a depender do tamanho das partículas, cerca de 20 a 60% são depositadas próximas à fonte. Partículas com diâmetro acima de $2,0 \mu\text{m}$ são depositadas em uma distância relativamente próxima a fonte, em contrapartida, partículas menores são facilmente transportadas a distâncias maiores (ATSDR *op. cit.*).

Esses dados são corroborados por estudos realizados no Brasil, sobretudo na região metropolitana de São Paulo, principalmente pelos trabalhos realizados por (FIGUEIREDO *et al.*, 2001, 2004; NOGUEIRA, 2006; GIOIA *et al.*, 2008; MARTINS, 2009). Estes estudos apresentam dados sobre poluição atmosférica por metais e emissão veicular, segundo os autores, onde por meio da utilização de biomonitoradores, relacionaram-se, dentre outros fatores, a concentração dos poluentes gasosos e metais com a distância da fonte de emissão.

Em relação à concentração de chumbo na atmosfera, dados têm comprovado a diminuição das emissões de chumbo em diversos países, principalmente devido ao maior controle das fontes de emissão (WHO, 1995). Em São Paulo, por exemplo, a CETESB, órgão ambiental do Estado de São Paulo, tem monitorado as concentrações de chumbo na atmosfera da região metropolitana desde 1987. Os resultados obtidos de quatro estações de monitoramento, cujas localizações são: Osasco, Parque do Ibirapuera, Parque Dom Pedro II e São Caetano do Sul, mostram a tendência de diminuição nas concentrações nos anos de 1987, 1993, 1997 e 2003 (CETESB, 2009).

No **Gráfico 5.2-1**, têm-se as concentrações médias anuais de três, das quatro estações analisadas.

Gráfico 5.2-1 - Concentração média anual de Chumbo na Atmosfera.

FONTE: (CETESB, 2009)

O gráfico confirma a tendência de diminuição das concentrações que ocorrem em todo o mundo, marco de sistemas mais eficientes de controle da poluição conforme (WHO, 1995). O chumbo proveniente de deposições atmosféricas ou de

fontes industriais e agrícolas possui grande afinidade para acumular nos horizontes superficiais dos solos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992; ABREU; ABREU; ANDRADE, 1998), devido, principalmente, à sua baixa solubilidade e à forte adsorção ao solo (CHANEY, 1991).

Nos casos de deposição disseminada de chumbo, as concentrações deste e de outros elementos no meio tem sido de baixas concentrações, devido às modestas taxas de aplicação ou emissão, exceto quando este ocorre próximo à fonte. O solo é capaz de imobilizar o chumbo na maioria dos casos. No entanto, a imobilização deste metal tem resultado em sua acumulação e, devido à toxicidade, solos rasos podem apresentar elevado risco para ingestão (DEUTSCH, 1997).

5.3 GEOQUÍMICA DE SOLOS TROPICAIS

O solo apresenta-se como um meio de grande complexidade e dinâmica cujos principais integrantes são representados por uma fase gasosa, por uma fase líquida intersticial, porção mineral e outra orgânica.

A química do solo é resultado basicamente da interação da matriz do solo e a água de percolação, a intensidade do intemperismo, que nesses casos tem como principal o intemperismo do tipo químico, aumenta com o aumento da pluviosidade. Este mecanismo faz com que o solo repercuta uma maior proporção de minerais secundários (LEPSCH, 2010).

Desta forma, a quantidade de água disponível para o perfil de alteração, juntamente com as elevadas temperaturas comuns nos trópicos, média em torno de 25°C, aceleram as reações ou mesmo modifica e altera a natureza dos produtos neoformados, aumentando a possibilidade de lixiviação de moléculas solúveis (MELFI; OLIVEIRA; TOLEDO, 2001). Assim é verificado que solos das regiões tropicais quentes e úmidas estão entre os mais intemperizados do mundo. Segundo a lei de Vant'Hoff, a cada 10°C de aumento da temperatura, dobra-se a velocidade das reações químicas (LEPSCH, 2010).

No Brasil, dada sua localização, no contexto climático da região tropical, o mecanismo fundamental à alteração dos materiais rochosos em superfície é

predominantemente a hidrólise (MELFI; PEDRO, 1977). Para Lepsch (2010), a hidrólise sempre ocorre na faixa de pH de 5 a 9. Exemplo: o feldspato potássico, onde o potássio é totalmente eliminado pela solução de lixiviação e a sílica apenas parcialmente; a sílica não eliminada recombina-se com o alumínio também não eliminado, formando uma fase secundária argilosa (caulinita).

A hidrólise é a base da neogênese de minerais secundários, esses novos materiais apresentam natureza e composição distintas dos minerais que lhe deram origem, dadas as condições recorrentes no ambiente de formação o processo de hidrólise pode ser mais ou menos completo repercutindo nas características dos minerais neoformados (PEDRO, 1964 e 1966). Na hidrólise total, 100% da sílica e do potássio são eliminados pela solução percolante. A sílica, embora apresente baixa solubilidade na faixa de pH da hidrólise (5 a 9) pode ser totalmente eliminada caso as soluções de alteração permanecerem diluídas, como o que ocorre em condições de alta pluviosidade e boa drenagem nos perfis a esse processo dá-se a denominação de alitização.

A hidrólise sendo parcial tem-se a formação de “sais básicos” insolúveis pela reação da sílica do mineral primário com o alumínio são os hidroxissilicatos ou aluminossilicatos hidratados – argilas. Nesse caso tem-se a sialitização, em que a dessilicificação do meio apresenta-se incompleta, há, todavia a eliminação mais ou menos elevada de cátions. Nesse caso o processo é denominado monossialitização onde é verificada a formação de argilominerais 1:1 do tipo caolinita. Caso houver a eliminação parcial de cátions básicos, ocorrerá a gênese de argilominerais com estrutura 2:1 tipo esmectita em que a carga da camada é compensada pela ocorrência de íons interfoliares, o processo é a bissialitização (PEDRO, 1966).

5.3.1 OCORRÊNCIA E DINÂMICA DO CHUMBO EM SOLOS TROPICAIS

Os solos são formados como sendo o produto dos agentes do intemperismo nas rochas (MASSAD, 2003; LEPSCH, 2010). Para Pedro (1964, 1966), os mecanismos ligados à alteração geoquímica superficial ocorrem em virtude de certo número de condições do meio evolutivo, principalmente das características litológicas, termo hídricas e físico-químicas. As rochas, em função dos processos

que a formaram, apresentam-se fraturadas e/ou fragmentadas formando um regolito (*solum* + saprolito), que nas regiões tropicais facilmente atingem profundidades superiores a 10 metros, esses materiais, são frequentemente submetidos a vários ciclos de intemperização, remoção e deposição (LEPSCH, 2010).

Para Haan e Zwermann (1978), as interações do elemento de interesse com a fase sólida, constituem a base para o entendimento da poluição do solo. Segundo os autores, as interações que podem ocorrer são:

- a)** Adsorção: induzida pela atração eletrostática entre compostos carregados e constituintes do solo com cargas opostas. A adsorção consiste em um processo físico-químico no qual uma substância é acumulada em uma interface solido-liquido, ou seja, a substância é removida da fase líquida e adsorvida a fase sólida (BOSCOV, 2008);
- b)** Repulsão eletrostática: quando a carga eletrostática do composto e dos constituintes do solo é idêntica. A atração e a repulsão são processos que ocorrem simultaneamente no solo;
- c)** Quimiossorção: esse mecanismo de interação é difícil de ser distinguido da adsorção eletrostática, exceto pelo valor da energia de adsorção, que é maior na quimiossorção. Uma das consequências dessa elevada energia de adsorção é que os elementos ligados por quimiossorção apresentam-se relativamente indisponíveis para interagir com outros constituintes do solo;
- d)** Precipitação e dissolução: essas reações dependem do equilíbrio químico no solo. Eles podem ser os principais mecanismos a governar a mobilidade de certos metais pesados e fósforo;
- e)** Decomposição: muitos compostos presentes no solo estão sujeitos a reações de decomposição química e microbiana.

A migração dos contaminantes através do meio poroso ocorre segundo mecanismos de transporte associados aos processos físico-químicos e bioquímicos. Os processos físico-químicos envolvem basicamente os fenômenos de:

- Advecção (quando a substância é transportada devido ao fluxo do fluido no qual ela está dissolvida ou em suspensão coloidal, movendo-se na direção das linhas de fluxo);
- Difusão (movimento de solutos dissolvidos na água) ocorre em decorrência de um gradiente químico e
- Dispersão, enquanto os químicos estão relacionados às interações que podem ocorrer entre solo e poluente em função das reações bioquímicas e físico-químicas a que essas substâncias estão sujeitas, quando em contato com o solo.

O solo possui uma grande capacidade de retenção de metais pesados, porém, se essa capacidade for ultrapassada, os metais em disponibilidade no meio penetram na cadeia alimentar dos organismos vivos ou são lixiviados, colocando em risco a qualidade do sistema de águas subterrâneas. A retenção desses metais no solo pode se dar de diferentes formas, já que os argilominerais possuem sítios negativos onde os metais são adsorvidos por forças eletrostáticas (MATOS *et al.*, 1996).

Em função de toda essa dinâmica, o estudo do chumbo em solos tropicais constitui base fundamental para o entendimento de sua ocorrência. Para Boscov (1997), a contaminação do solo consiste em fator de grande relevância na deterioração das águas subterrâneas.

O chumbo é um metal potencialmente tóxico para animais, plantas e pode ser acrescentado aos solos por meio de diversas fontes, entre elas: fertilizantes fosfatados, calcários, resíduos industriais, compostos orgânicos provenientes da reciclagem de lixo urbano e lodo de esgoto (AMARAL SOBRINHO *et al.*, 1992; CRAVO *et al.*, 1998). A biodisponibilidade do chumbo, bem como a de outros cátions metálicos, está diretamente relacionada à sua especiação na solução do solo e por suas interações com a fase sólida do sistema (ALLOWAY, 1995).

Essas interações podem ocorrer de diversas formas dinamicamente no sistema aquífero, dentre as interações entre soluto e fase sólida pode-se destacar a adsorção. Este comportamento adsorptivo de metais pelos solos é de grande

importância, pois os efeitos desfavoráveis resultantes de altas concentrações estão diretamente relacionados a esta capacidade do solo em adsorver estes elementos (JORDÃO *et al.*, 2000).

O chumbo, como outros elementos catiônicos, é retido primeiramente nas cargas negativas das superfícies dos colóides do solo, formando, posteriormente, ligações mais estáveis (PIERANGELI *et al.*, 2001). Nestes processos de adsorção, é importante considerar alguns fatores que interferem diretamente, entre os quais podem ser citados a natureza da fase sólida inorgânica do solo, o pH, o teor de matéria orgânica e a presença de outros íons (ALLEONI *et al.*, 2005; APPEL *et al.*, 2008).

Inicialmente, os poluentes são adsorvidos nos solos por meio de troca iônica ou interações eletrostáticas, forças de Van der Waals ou ligações químicas estáveis. Com o envelhecimento do solo, esses elementos podem vir a fazer parte da estrutura de alguns minerais (ARAÚJO; AMARAL SOBRINHO, 2000). Se a interação do metal com o solo não for estável, pode ocorrer à migração do metal, o que pode culminar com a contaminação da água superficial e subterrânea.

Através da análise de isotermas de adsorção, Linhares *et al.* (2009), analisando cinco amostras de solos tipicamente tropicais, verificaram que a adsorção do chumbo caracteriza-se por manter intima relação com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio no solo. Segundo os autores, os solos que mais adsorveram os metais cádmio e chumbo foram o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico e o Latossolo Vermelho perférrico húmico. Pierangeli (2001), em um estudo sobre a força iônica em 17 amostras de solos brasileiros verificou que a mudança da força iônica na solução de equilíbrio não varia com a quantidade adsorvida.

Este fato indica que o chumbo é predominantemente adsorvido como complexo de esfera interna, ou seja, fica alojado na estrutura do mineral neoformado. Para a autora, a adsorção específica sugere que o chumbo não integra o complexo de troca na grande parte dos solos estudados, sua substituição ocorre apenas nos casos em que outra espécie de cátion com maior afinidade interage com o mineral. Nesse estudo, a autora analisou 17 amostras de solos englobando os

materiais de origem mais representativos da geologia do Brasil cujas localidades foram distribuídas entre as regiões Sul, Sudeste, Centro Oeste e Nordeste.

Esses solos apresentam características físico-químicas bastante heterogêneas o que corrobora com as características dos solos tropicais brasileiros, em termos dos processos químicos de alteração, onde é verificada a predominância da ocorrência dos processos de alitização, fato observado pela relação dos minerais secundários em análise (caolinita, gibbsita, goethita e hematita). São solos predominantemente argilosos com grande superfície específica em virtude da grande quantidade de argila (PEDRO, 1964, 1966).

A forte ligação do chumbo a óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, matéria orgânica, ácidos húmicos e fulvicos pode ser observada no **Quadro 5.3.1-1**, onde a força relativa de ligação de alguns metais em diferentes contextos de solventes.

Quadro 5.3.1-1 - Força de Ligação de Metais em Diferentes Solventes.

Substância	Força de ligação relativa
Minerais de argila, zeólitos	Cu > Pb > Ni > Zn > Hg > Cd
Óxidos e hidróxidos de Fe e Mn	Pb > Cr = Cu > Zn > Ni > Cd > Co > Mn
Matéria orgânica (em geral)	Pb > Cu > Ni > Co > Cd > Zn = Fe > Mn
Ácidos húmico e fúlvico	Pb > Cu = Zn = Fe
Turfa	Cu > Pb > Zn > Cd
Turfa degradada	Cu > Cd > Zn > Pb > Mn

FONTE: (BUNZL *et al*, 1976 *in* MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

Nesses estudos, de forma geral, verifica-se que o chumbo bem como sua interação com o solo apresenta um comportamento extremamente dinâmico em função das classes de solos que ocorrem no Brasil, sua ocorrência seja em decorrência da atividade antrópica ou natural está intimamente relacionada à adsorção a fração argilosa formando estruturas neoformadas e colóides por complexação. Quando associado aos outros metais verificam-se reações de adsorção e dessorção devido à competição por sítios disponíveis (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

A seguir, no **Gráfico 5.3.1-1**, é apresentada uma relação da porcentagem de cátions metálicos em hidróxido de ferro em função do pH.

Gráfico 5.3.1-1 - Porcentagem de cátions adsorvidos em hidróxido de ferro em função do pH.
FONTE: (DREVER, 1997).

O efeito da competição entre os metais Cd, Cu e Pb foi objeto de estudo de Pierangeli *et al.*, (2007). No estudo, os autores investigaram os fenômenos de adsorção e dessorção para os metais citados em duas amostras de Latossolos (horizonte A) na região de Campos das Vertentes – MG. Os autores verificaram principalmente que, quando postos para interagir no mesmo sistema, a competição pelos sítios de adsorção disponíveis fez com que alguns metais fossem mais adsorvidos que outros. O que é plausível com o apresentado no **Quadro 5.3.1-1**, acima.

5.4 HIDROGEOQUÍMICA DO CHUMBO

Os sistemas aquáticos seja um corpo lótico (rio) ou lântico (lago), em qualquer dimensão, pode se encontrar uma grande variedade de substâncias. Essas substâncias podem ser encontradas em suspensão, dissolvidas, complexadas e no estado coloidal (HYPÓLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011). Para Hypólito; Andrade; Ezaki (2011), tais substâncias apresentam origens diversas, recebendo neste contexto, as de origem antrópica, grande destaque no cenário ambiental.

Na **Figura 5.4-1** é apresentada uma sinopse das relações que ocorrem em um sistema aquífero.

Figura 5.4-1 - Principais interações em sistemas aquíferos

FONTE: (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

Como regra geral, toda água que faz parte do sistema atmosférico (nuvens e vapor d'água), apresenta-se praticamente pura. Conduzindo assim a interpretação de que a composição da água, que precipita sob a forma de chuva, seja função da dissolução de agentes reativos como, CO_2 , O_2 , N_2 , SO_2 , NH_3 , N_2O , HCl e CO . Já na crosta, a composição das águas seria influenciada pela geologia e ataque de ácidos orgânicos na biosfera (SZIKSZAY, 1993).

A fração de chumbo que ocasionalmente venha a ser “lavada” da atmosfera é aos poucos integrada, primeiramente aos solos e em seguida aos rios, lagos, etc. Nesses sistemas pode dissolver-se parcialmente, permanecer dispersos com particulados inorgânicos ou, em caso de rios e lagos, permanecerem no fundo, integrando os sedimentos. Essa integração deve estar em equilíbrio com os íons existentes na solução conforme apresentado na equação abaixo:

$$C_{Pb} = (Pb_{(solúvel)}) + (Pb_{(particulado\ inorgânico)}) + (Pb_{(particulado\ orgânico)}) \quad (E-5.4-1).$$

$$\text{Onde: } [Pb_{(solúvel)}] = [Pb^{2+}_{(aq)}] + [Pb\text{-complexado}_{(aq)}] \quad (E-5.4-2).$$

O equilíbrio pode ser afetado deslocando-se a equação no sentido da dissolução ou precipitação de particulados conforme o princípio de Le Châtelier. O chumbo complexado nesse caso pode torna-se móvel tanto ligado a compostos orgânicos quanto compostos inorgânicos (LENZI, 2009). O Chumbo metálico e os minerais de chumbo são pouco solúveis em água pura, mas são consideravelmente solúveis em certos ácidos orgânicos. É um metal estável e não reage facilmente com ácidos fracos, em contato com o ar, no entanto, o chumbo pode tornar-se ácido, sendo oxidado pelo oxigênio em meio ácido conforme a reação abaixo:

As formas principais de chumbo podem ocorrer em dois estados de oxidação, o II e IV e sua forma estável é a espécie 2^+ . Pode ser lixiviado por águas ácidas, particularmente as águas ricas em matéria orgânica, e podem ser transportados na solução como complexos orgânicos de chumbo solúveis (DEUTSCH, 1997).

No **Quadro 5.4-1**, a seguir, são apresentadas as formas mais comuns do chumbo em águas subterrâneas em termos das espécies dissolvidas.

Quadro 5.4-1 - Principais espécies químicas de chumbo que podem permanecer em solução

Elementos	
Elementos traço (< 0.1 mg/L)	
Chumbo (Pb)	Pb^{2+} , $PbCl^+$, $PbCl_2^0$, $PbCl_3^-$, $PbCl_4^{2-}$, $Pb(CO_3)_2^{2-}$, PbF^+ , PbF_2^0 , PbF_3^- , PbF_4^{2-} , $PbOH^+$, $Pb(OH)_2^0$, $Pb(OH)_3^-$, Pb_2OH^{3+} , $PbNO_3^+$, $PbSO_4^0$, $Pb(HS)_2^0$, $Pb(HS)_3^-$, $Pb_3(OH)_4^{2+}$, $PbBr^+$, $PbBr_2^0$, PbI^+ , PbI_2^0 , $PbCO_3^0$, $Pb(OH)_4^{2-}$, $Pb(SO_4)_2^{2-}$, $PbHCO_3^+$

FONTE: (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

A imobilidade geoquímica do chumbo meio aquoso, ocorre em condições de baixo potencial redox e pH, podendo variar de pouco ácido a extremamente básico. Uma consequência direta, constatada por Junior, Molin e Przepiora. (2008), é a transformação do chumbo em outras formas como: Cerussita (PbCO_3), Anglesita (PbSO_4) e alguns traços de óxido de chumbo (PbO). Para o autor, a mobilidade do chumbo em solos e água subterrânea também é influenciada pela presença de diferentes tipos de minerais que podem limitar sua mobilidade.

O chumbo solúvel em subsuperfície possui baixa mobilidade e sua fixação no solo é influenciada por três fatores principais: pela adsorção na matéria orgânica formando quelatos, processo de precipitação de carbonatos e adsorção por óxidos de metais (Fe-Mn) e diversos tipos de sólidos (BRADL, 2005). Nas águas naturais, embora não muito comum com pH neutro, a espécie predominante dissolvida em água é o Pb^{2+} . Em ambientes com elevado pH (alcalino) o metal tende a se combinar com o carbonato formando o Carbonato de Chumbo (PbCO_3) ou pode ser adsorvido por hidróxidos normalmente presentes na água (PbOH) formando compostos de baixa solubilidade (JUNIOR; MOLIN; PRZEPIORA, 2008).

A solubilidade desses metais é influenciada pelo pH e pela saturação dos minerais na solução. Se a concentração de chumbo lançado em um determinado local exceder a capacidade de imobilização do meio, o chumbo pode se tornar relativamente móvel (DEUTSCH, 1997). Como se pode observar, o pH exerce papel fundamental na dinâmica do chumbo. Abaixo, no **Gráfico 5.4-1**, são apresentados os diagramas de especiação de chumbo de acordo com o Eh x pH (a esquerda) e (ao lado direito) em porcentagem (%) de espécies dissolvidas x pH.

Nos gráficos a seguir, é possível verificar que a espécie PbO_2 se forma em praticamente qualquer faixa de pH onde se tem ótimas condições de oxidação, já as espécies PbSO_4 , PbSO_3 e Pb(OH)_2 ocorrem em condição de oxidação mais restritas, sendo que o pH varia de até 6, de 6 até 10 e de 10 a 14, respectivamente.

Gráfico 5.4-1 - Diagramas de especiação do chumbo.

FONTE: (BRADL, 2005).

Segundo Mavalta (1994), abaixo da camada de solo onde o carbono orgânico é menos abundante, os óxidos de ferro e manganês são os maiores contribuintes na adsorção do chumbo e somente em condições muito ácidas é possível que o chumbo se mobilize. Assim, o metal é no geral mais móvel em solos ácidos que em solos alcalinos. A capacidade de adsorção relativa dos constituintes individuais do solo para chumbo decresce na seguinte ordem, são: oxido de manganês, oxido de ferro, matéria orgânica e argilominerais.

Principalmente nas áreas urbanas onde existem diversas fontes de chumbo, o metal tende a se acumular na camada superficial de solo devido a sua alta afinidade a matriz argilosa do solo e baixa mobilidade. Já o chumbo adsorvido pelos hidróxidos de metais pode se mover na água subterrânea em forma de colóides e são detectados nas análises laboratoriais de chumbo total que é realizada em uma amostra não filtrada (BRADL, 2005).

5.5 CINÉTICA E TOXICOLOGIA DO CHUMBO

O chumbo é um elemento tóxico que não é essencial ao metabolismo do ser humano e que se acumula no organismo ao longo da vida. Em sua interação com os organismos, o chumbo apresenta tanto características comuns a outros metais

pesados, quanto algumas peculiaridades. É sabido, por exemplo, que o chumbo afeta virtualmente todos os órgãos e sistemas do organismo, os mecanismos de toxicidade propostos envolvem basicamente processos bioquímicos fundamentais, que incluem a habilidade do chumbo de inibir ou mimetizar a atuação do cálcio e de interagir com proteínas. Em níveis de exposição moderada (ambiental e ocupacional), um importante aspecto dos efeitos tóxicos do chumbo é a reversibilidade das mudanças bioquímicas e funcionais induzidas (MOREIRA; MOREIRA, 2004b).

Atualmente a cinética, ou seja, a interação química entre os mecanismos de absorção, distribuição, armazenamento e eliminação do chumbo é grandemente estudada em homens e animais. Tais processos químicos fisiológicos podem ser influenciados por fatores endógenos (como por exemplo: a constituição genética do indivíduo, fatores antropométricos, estado de saúde) e exógenos, tais como carga de trabalho e exposição simultânea a várias substâncias, igualmente maléficas, aos indivíduos como: drogas, álcool e fumo (MOREIRA; MOREIRA, 2004a).

No organismo humano, o chumbo não é metabolizado, ou seja, não é convertido em energia ou recurso para o corpo e sim, complexado por macromoléculas sendo diretamente absorvido, distribuído e excretado. Geralmente os compostos de chumbo inorgânico adentram no organismo via inalação (rota mais importante na exposição ocupacional) ou ingestão (via predominante para a população em geral) sendo absorvidos pelo sistema gastrointestinal do organismo (MOREIRA; MOREIRA, 2004a).

A toxicologia do chumbo afeta severamente diversos órgãos e sistemas no corpo humano, as alterações que ocorrem em níveis subcelulares e os efeitos neurológicos sobre o desenvolvimento parecem ser os mais críticos. Esse metal produz efeitos adversos sobre muitos processos bioquímicos, em particular, afeta o sistema hematopoético e a homeostase do cálcio, interferindo em outros processos celulares. As crianças são mais vulneráveis aos efeitos do chumbo por razões neurológicas, metabólicas e comportamentais. A encefalopatia é um dos mais sérios desvios tóxicos induzidos pelo chumbo em adultos e crianças, levando às disfunções psicológicas e neurocomportamentais (ATSDR, 2007).

Segundo Moreira e Moreira (2004b) os resultados da exposição ao chumbo sobre os ossos, os sistemas nervoso central e cardiovascular, os rins e o fígado devem ser estudados com maior profundidade, bem como os efeitos sobre a reprodução masculina e feminina, o sistema endócrino e a formação do feto. Para os mesmos autores, também é essencial esclarecer se o chumbo tem efeitos teratogênicos e carcinogênicos em seres humanos.

5.6 PRESERVAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Amostras de águas subterrâneas destinadas à análise de parâmetros físico-químicos bem como a determinação de seus principais constituintes devem ser acondicionadas de forma segura levando-se em consideração os materiais de armazenamento e as normas analíticas de referencia para cada parâmetro. Cuidados de ordem mais práticos como a quantidade de água a ser amostrada, metodologia de preservação e prazo para entrega em laboratório também devem ser seguidos (SANTOS, 2000). Abaixo são apresentados brevemente, alguns cuidados que devem ser tomados para alguns parâmetros comumente realizados em análises de águas subterrâneas.

Quadro 5.6-1 - Técnicas de preservação e armazenamento de algumas amostras para análises físico-químicas.

Parâmetro	Frasco	Volume	Preservação ³	Prazo
Metais	P,V	1L	HNO ³ até pH < 2	180 dias
Nitrogênio nitrato	P,V	200 mL	Refrigerar a 4 °C	24 horas
Nitrogênio nitrito	P,V			48 horas
Potássio	P,V	100 mL	HNO ³ até pH < 2	-
Sílica	P,V	200 mL	Refrigerar ³ a 4 °C	7 dias
Sódio	P,V	100 mL	HNO ³ até pH < 2	-
Sulfato	P,V	200 mL	Refrigerar a 4 °C	7 dias
Sulfito	P,V		Refrigerar a 4 °C	-
Cloreto	P,V		-	14 dias
P= polietileno; V= vidro neutro ou borossilicatado				

FONTE: Adaptado de (SANTOS, 2000).

Além dos cuidados acima, manter registro de campo e condições de amostragem são elementos fundamentais a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas em estudo.

De grande importância também, é o levantamento dos dados em campo. Os dados levantados *in situ*, devem ser obtidos durante a etapa de amostragem, esses dados objetivam a verificação das condições físico-químicas originais do aquífero e, tais como todos os cuidados definidos no plano de amostragem, configuram em objeto auxiliar a interpretação dos resultados (SANTOS, 2000).

5.7 ANÁLISES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ou Métodos Padrão para exame de Água e esgoto, desde 1905 tem publicado técnicas analíticas para avaliação e determinação da qualidade da água (ALPHA, 2005). Os trabalhos publicados pela entidade têm sido utilizados como referência, há órgãos reguladores e fiscalizadores de meio ambiente, segundo a entidade, a quantidade mínima requerida para análise do chumbo em água subterrânea é de 1 Litro. O recipiente de coleta deve ser de polietileno, a fim de evitar a interação da água com compostos inorgânicos possivelmente presentes em outros tipos de frascos. A conservação da amostra é feita com a adição de HNO_3 até $\text{pH} = 2$, podendo ser armazenada por até 6 meses antes da análise. A amostra deve ser coletada através do método de baixa vazão, para evitar agitação durante a amostragem e possibilitar a coleta de uma amostra mais representativa possível da matriz do aquífero.

No caso da amostragem para análise de chumbo dissolvido a amostra deve ser filtrada (preferencialmente em campo) utilizando filtro de 0,45 micrometros ou menos, para retirada das partículas em suspensão. Ressalta-se que mesmo com a filtração no local, partículas de sólidos podem atravessar os poros do filtro, contribuindo para a elevação das concentrações de chumbo dissolvido devido à dissolução dos sedimentos em contato com o ácido nítrico (VEIGA, 2009).

No solo, deve-se avaliar o objetivo da coleta para definição da profundidade do material a ser amostrado. No caso de monitoramento da qualidade do solo, tendo

em vista as propriedades que contribuem para a baixa mobilidade do metal no meio, a amostra deve ser coletada na camada mais superficial do terreno, (no horizonte A) entre 0 e 20 cm de profundidade, onde as maiores concentrações serão observadas (VEIGA, 2009).

As análises mais comuns de chumbo são realizadas por espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, do *inglês inductively coupled plasma mass spectrometry*) ou por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica (ET AAS, do inglês, *electrothermal atomic absorption spectrometry*). O ICP-MS é uma das principais técnicas sendo amplamente utilizada para análise na área ambiental, clínica e de alimentos. É uma análise relativamente rápida, precisa, com capacidade de atingir baixos limites de detecção (LD's). Não requer um grande volume de amostra para análise e possui a vantagem de ser multielementar (VEIGA *op. cit.*; ALBARÈDE, 2011).

A determinação dos isótopos de chumbo está sendo cada vez mais utilizada com a finalidade de determinar a origem do metal nos diferentes meios quando se trata de ambiente. Isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico que possuem o mesmo número de prótons (Z), porém com diferentes números de nêutrons e massa atômica. Os isótopos chamados estáveis não alteram sua massa ao longo de sua existência. Na natureza, existem quatro isótopos estáveis de chumbo (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb), segundo Martins (2008), as características geológicas dos materiais e o ciclo geoquímico influenciam significativamente nas razões isotópicas. Como o chumbo mantém a assinatura isotópica da fonte geradora, sua análise vem sendo utilizada como uma ferramenta importante na diferenciação de fontes de contaminação antrópicas e/ou naturais na água subterrânea.

Assim, como resultado, cada fonte potencial de chumbo na água subterrânea, por exemplo, pode ter uma assinatura isotópica diferente dependendo da composição isotópica da fonte geradora (KATZ *et al.*, 1999). Comparando as razões dos isótopos estáveis nos meios de interesse (água subterrânea, solo e sedimento) com a razão isotópica de possíveis fontes potenciais de contribuição de chumbo, como emissões atmosféricas, materiais dos aquíferos, entre outros, é possível a discriminação da fonte dominante (BULLEN; KENDALL, 1998).

Uma ferramenta que tem sido utilizada na caracterização dos sistemas aquíferos é o programa de modelagem geoquímica PHREEQC 2.1. (PARKHURST; APPELO, 1999). Programas de caracterização hidroquímica têm sido utilizados desde 1970, após esse período, com as constantes inovações nos sistemas de computação e desenvolvimento dos primeiros computadores pessoais, os programas foram se tornando mais robustos e passaram a integrar as ferramentas utilizadas nas mais variadas aplicações dentro do campo da hidrogeologia (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

A qualidade das águas subterrâneas está intimamente ligada, de certa forma, pelo constante equilíbrio estabelecido naturalmente, tanto de seus atributos físicos quanto de suas características químicas (FILHO, 2000).

Basicamente, o programa se baseia em constantes de equilíbrio químico e permite a realização de uma série de associações iônicas em meio aquoso como, cálculo de especiação química e índices de saturação de minerais; cálculos de transporte advectivo e de evolução geoquímica em tubos de fluxo; também é possível prever misturas de águas (águas subterrâneas x salinas/carbonatadas/etc), reações irreversíveis, equilíbrios gasosos e minerais, trocas iônicas e reações de complexação em superfície; modelagem inversa, na qual se calculam as transferências minerais e de gases, considerando algumas restrições (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH *op. cit.*).

A elaboração de gráficos, diagramas e obtenção de razões iônicas, dentre outros dados, possibilitaram a interpretação e caracterização das análises químicas que, associadas a aspectos geológicos e hidrogeológicos, permite elaborar modelos conceituais de funcionamento dos aquíferos.

6. METODOLOGIA

A Metodologia empregada foi conduzida de forma a atender os objetivos da presente dissertação. Dessa forma, com a finalidade de avaliação ambiental da área, foram realizados estudos de caracterização hidrogeológica e hidroquímica.

Os métodos hidrogeológicos foram realizados de forma a se obter dados básicos como, carga hidráulica, potenciometria, direção e velocidade da água no aquífero local. Os métodos hidroquímicos seguiram com a coleta de dados em campo como sondagem para coleta de solo, amostragem de águas subterrâneas, medidas de parâmetros físico-químicos e análises laboratoriais. Por fim, procurou-se analisar a metodologia empregada pela consultoria frente à contaminação encontrada durante as investigações realizadas bem como sua eficiência no sentido de fornecer o comportamento do íon chumbo na água subterrânea local.

Dessa forma o trabalho foi realizado em três etapas:

1. A primeira consistiu basicamente de um levantamento bibliográfico sobre o assunto seguido da aquisição dos relatórios ambientais, cedidos pela empresa de consultoria. Após a elaboração do plano de amostragem, procedeu com monitoramento dos dados físico-químicos em campo, onde também se avaliou as condições dos poços existentes na área para a campanha de amostragem;
2. Na segunda etapa, realizaram-se a amostragem de 7 poços de monitoramento. A água desses poços foi amostrada em função de terem sido constatadas concentrações anômalas do íon chumbo no aquífero local. Realizou-se também amostragem de dois poços de monitoramento encontrados no terreno ao lado e de solo coletado por meio de sondagem, visto que o terreno apresentava potencial de ser a fonte da contaminação encontrada na área de estudo;
3. Integração dos resultados obtidos, discussão, conclusão e recomendações apresentadas pela presente dissertação.

Uma breve descrição da metodologia pode ser visualizada no quadro a seguir.

Quadro 6-1 – Resumo das etapas metodológicas utilizadas na dissertação

Etapas da Pesquisa	Tipo de amostra	Identificação poços/locais de sondagens	Análises			Período de amostragem
Etapa 1	Pesquisa Bibliográfica					
Etapa 2	Relatórios da Empresa de Consultoria					
	Solo	ST-01 a ST-12	NBR (10.004)	Coletas (0,30m) ICP	Coletas de parâmetros físicos	2010
	Água subterrânea	PM-01 ao PM-05	Metais dissolvidos (ICP-MS)			maio (2008)
		PM-01 ao PM-12	Chumbo (ICP-MS)			agosto (2009) a abril (2012)
Etapa 3	Este Estudo (complementação das Investigações)					
	Solo	Coleta de complementação	DRX*	FRX**	Granulometria	2013
	Água Subterrânea	PM-05, PM-06, PM-07, PM-09, PM-10, PM-11 e PM-12***	Metais dissolvidos (ICP-MS)	Ânios (Nitrato, Nitrito, Sulfato, Sulfito, Cloreto, Carbonato e Bicarbonato)	Sólidos Totais Dissolvidos	2012
		PT-01 e PT-02				2013

(*) Difração de Raio X

(**) Fluorescência de Raio X

(***) Poços historicamente contaminados por chumbo na área

6.1 LIMITAÇÕES

Conforme apresentado durante o desenvolvimento da presente dissertação, o estudo da contaminação por chumbo envolve uma quantidade relativamente grande de informações. Este fato deve-se, em parte, a larga disseminação do chumbo na atmosfera ocorrida por anos de utilização na gasolina com chumbo tetraetila. Dessa forma, é de se esperar que um trabalho que vise a tratar de sua ocorrência em águas subterrâneas, investigue os meios de passagem dos compostos de chumbo integrando ao final, dados sobre sua dinâmica no ar, solo e meio aquoso. A utilização de ferramentas analíticas, como avaliação de isótopos, por exemplo, pode fornecer informações valiosas sobre as contribuições antrópica e/ou geogênica dessa contaminação.

No entanto, na presente dissertação, as investigações realizadas na área em questão ficaram restritas, em parte, a análise dos relatórios técnicos cedidos pela empresa de consultoria ambiental, que conduzira os estudos ambientais na área e amostragem das águas subterrâneas dos poços existentes.

Dados complementares também foram obtidos com a coleta de águas subterrâneas em dois poços e coleta de solo em um ponto fora da área de interesse, mas adjacente à área de estudo. Segundo relatórios técnicos realizados pela consultoria bem como observações realizadas durante as atividades de campo, esse terreno apresentava indícios potenciais de ser a área fonte de contaminação das águas subterrâneas da área em estudo, como será apresentado a diante.

Cabe ressaltar, que estudos específicos, que trariam informações relevantes sobre a interação iônica do chumbo a matriz do solo na área em si como: pH do solo e CTC, por exemplo, não foram realizados, em função de a área ser um condomínio residencial e não se ter autorização para a realização de sondagens.

6.2 Reavaliação dos dados da consultoria

De forma a contribuir com o desenvolvimento do trabalho científico em questão, a empresa de consultoria ambiental BTX - Geologia e Meio Ambiente cedeu todos os estudos ambientais realizados na área. Esses dados foram obtidos pelos estudos de investigação ambiental que ocorreram na área durante o período de julho 2008 a abril de 2012. Tais estudos contemplaram as seguintes etapas: investigação ambiental preliminar, confirmatória, detalhada, complementação da investigação detalhada e monitoramentos das águas subterrâneas (1ª, 2ª, 3ª e 4ª campanhas de monitoramento das águas subterrâneas), conforme preconizado pela CETESB como etapas obrigatórias a áreas em mudança de uso e, nesse caso mais especificamente, para uso residencial.

Estas etapas de investigação devem ser seguidas segundo uma ordem de complexidade de estudos. Assim, as etapas iniciais, visam basicamente, um levantamento bibliográfico da área com a aquisição de documentos (plantas, alvarás, registros, imagens históricas, etc). A partir desse levantamento são priorizadas áreas potenciais de contaminação segundo as quais devem ser realizados estudos cada vez mais detalhados.

Em cada etapa do gerenciamento é feito um modelo conceitual da área, este se refere a um relato escrito e/ou a representação gráfica da área ou empreendimento investigado, do meio físico e dos processos físicos, químicos e biológicos que determinam o transporte de contaminantes da(s) fonte(s) através dos meios que compõem este sistema, até os potenciais receptores dentro deste sistema. Esta etapa é fundamental para embasar o processo de Gerenciamento de Reutilização do Uso do Solo, o que subsidia a continuidade das ações, quando necessárias, e para justificar as ações desenvolvidas até aquele momento (CETESB, 2007). Abaixo é apresentado um fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.

Figura 6.2-1 - Fluxograma do Gerenciamento de áreas contaminadas

FONTE: (CETESB, 2001)

Todos os procedimentos de campo com vistas ao gerenciamento de áreas contaminadas são realizados obedecendo a uma série de normas Brasileiras e/ou adaptadas à realidade técnico-científica em questão. Para o caso das áreas em estudo do potencial de contaminação, as principais normas são:

- NBR ISO14015 - Gestão ambiental - Avaliação ambiental de locais e organizações (AALO);
- NBR 15495 – Poços de Monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e Construção (junho/07);
- CETESB (1988) – Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água;
- CETESB (2001) – Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas;
- CETESB (2003) – Guia para Avaliação do Potencial de Contaminação em Imóveis;
- CETESB (2005) - Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. Anexo Único. CETESB/SMA, São Paulo, Brasil;
- CETESB (2007) – Decisão da Diretoria 103/2007/C/E. CETESB, São Paulo, Brasil.

Nos itens que se seguem, **item 6.3.** ao **item 6.5**, são apresentados os procedimentos realizados em campo pela consultoria apresentando sua principal função técnica aplicada na investigação da matriz em questão. Em seguida no **item 6.6**, é apresentado os procedimentos realizados para aquisição de dados complementares a presente dissertação.

6.3 PROCEDIMENTOS REALIZADOS EM CAMPO

6.3.1 SONDAGENS PARA CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E COLETAS DE SOLO

O conhecimento geológico de determinada área pode apresentar-se muitas vezes como sendo uma grande busca por dados, incluindo aqui, dados nem tão somente de cunho geológico. Obras de terra, empreendimentos residenciais, barragens e estradas são atividades comuns na engenharia que divergem quanto a vários aspectos técnicos, em comum, como ponto de partida, todas essas atividades são conduzidas a partir de uma grande quantidade de levantamentos geológicos ou geotécnicos ou ambos (MASSAD, 2003).

Nesse contexto, as sondagens ambientais apresentam-se como sendo uma importante ferramenta de acesso à informação do subsolo. Para Massad (2003), as sondagens ambientais contribuem grandemente ao trazer um entendimento sobre uma grande quantidade de procedimentos e estudos realizados em caracterização geotécnica. No que tange aos estudos realizados pela consultoria, na área, foram realizadas as seguintes análises geotécnicas:

- ❖ Carbono orgânico total (COT);
- ❖ Porosidade efetiva;
- ❖ Porosidade total;
- ❖ Umidade gravimétrica e
- ❖ Densidade.

Esses dados são exigidos geralmente na etapa de investigação detalhada, e servem principalmente para a determinação das propriedades ou parâmetros hidrodinâmicos dos solos, que governam ou possam determinar o transporte dos contaminantes.

Em termos da investigação ambiental, os poços de monitoramento apresentam-se como a forma construtiva de acesso ao ambiente subterrâneo.

Permitindo assim, a coleta de amostras e posteriores análises laboratoriais (BOSCOV, 2008).

Os poços de monitoramento para fins ambientais de investigação de contaminação em águas subterrâneas são construídos tendo como referência a norma NBR 15495-1 de 2007– Poços de Monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e Construção. A norma traz como preceitos básicos que as sondagens considerem a identificação e caracterização da formação aquífera em função dos modelos conceituais previamente estabelecidos no gerenciamento ambiental da área (BOSCOV *op. cit.*). Segundo Nielsen (2006), os poços de monitoramento constituem a base para o entendimento tanto geológico quanto hidrogeológico da formação, fornecendo informações sobre os tipos e natureza dos materiais de sondagem, profundidade do aquífero freático, camadas confinantes e profundidade da rocha.

Na **Figura 6.3.1-1** é apresentado um esquema com algumas das informações que podem ser estabelecidas com a realização das sondagens.

Figura 6.3.1-1 - Desenvolvimento de um modelo conceitual hidrogeológico.

FONTE: (NIELSEN, 2006).

Durante as investigações iniciais, foram realizadas sondagens para instalação dos poços de monitoramento que se encerraram a uma profundidade média de 2 metros abaixo do nível d'água. As perfurações das sondagens dos poços de monitoramento foram executadas com trado manual do tipo concha, com diâmetro de 4 ½" (quatro polegadas e meia) (ABNT, 2007). Solo e fragmentos coletados durante as perfurações foram examinados quanto às suas características granulométricas e descritas em campo.

Os poços instalados na área, um total de 12 poços, apresentam as mesmas características construtivas, tendo sido instalados com tubos de PVC Geomecânico de 2" de diâmetro e seção filtrante em todo o intervalo saturado, conforme a NBR 15495-1 (ABNT, 2007). A norma sugere ainda que o espaço anelar, entre a seção

filtrante e a parede da sondagem, seja preenchido com pré-filtro, no intuito de evitar as possíveis entradas de material particulado no poço, contudo, permitindo a máxima entrada de água em seu interior.

O espaço anelar entre a coluna de revestimentos e a parede de solo deve ser vedada, logo acima da seção filtrante, com uma camada de bentonita. Acima dessa camada deve ser preenchido com solo-cimento. Na porção final, junto à superfície, efetua-se a proteção sanitária, com selo de bentonita e cimento (ABNT, 2007). Após a instalação, os poços de monitoramento são desenvolvidos (remoção do excesso de sedimentos finos e outros materiais em suspensão) até que a turbidez da água seja significativamente reduzida (ABNT, 2008).

A **Figura 6.3.1-2**, ilustra um perfil de poço de monitoramento segundo a norma NBR-15495-1, apresentando suas principais características.

Figura 6.3.1-2 - Poço de monitoramento segundo NBR-15495-1

A amostragem do solo é realizada de modo a assegurar a obtenção de informações confiáveis a respeito da existência, concentração e distribuição, na área investigada, de determinadas substâncias de interesse (CETESB, 1988). Segundo o relatório da consultoria, durante a etapa de investigação do solo, 12 amostras (ST-01 a ST-12) foram coletadas para a análise dos metais (Sb, As, Ba, Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, Se e Zn). Essas coletas foram realizadas a profundidade média de 0,30 m, imediatamente abaixo do solo superficial. Todas as amostras de solo coletadas foram acondicionadas em frascos de vidro, com tampa de teflon, sendo todas refrigeradas ainda em campo, até o envio ao laboratório (FIT, 2010).

Ainda durante essa etapa de investigação, uma amostra retirada há 6,5 metros de profundidade na sondagem (ST-05), foi enviada para classificação segundo a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Essa norma dispõe sobre a classificação de resíduos sólidos cuja definição é apresentada a seguir:

[...] resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícolas, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e esgoto, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d' água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004a, p.1).

Para essa finalidade, no solo, dois ensaios, um de lixiviação, segundo a norma NBR 10.005 “Procedimentos para Obtenção de Extrato Lixiviado de resíduos Sólidos” (ABNT, 2004b) e solubilização, segundo NBR 10.006 “Procedimentos para Obtenção de Extrato Solubilizado de resíduos Sólidos” (ABNT, 2004c), foram realizados para caracterizar a classe de periculosidade tal como se o solo fosse um resíduo.

Cabe ressaltar que esse ensaio foi conduzido após a constatação de que, na camada superficial do solo (0,30 m), fora verificada concentrações de vários metais, dentre os quais o chumbo que também foi constatado na água subterrânea anteriormente, levando os responsáveis pela condução dos estudos a hipótese de que talvez o chumbo pudesse fazer parte do material de origem do solo, abaixo da camada de aterro.

O objetivo foi determinar o comportamento do íon chumbo face aos fenômenos físico-químicos, como lixiviação e diluição.

Basicamente, a diferença entre os ensaios lixiviado e solubilizado está nas condições do meio em que são realizados: enquanto o ensaio no extrato solubilizado é realizado em água deionizada (em condições pouco favoráveis a mobilização dos contaminantes) o ensaio no extrato lixiviado é realizado em condições mais favoráveis a esta mobilização, como pH ácido, e mais próximo das condições ambientais (ABNT, 2004b e c).

Na **Figura 6.3.1-3**, é apresentado fluxograma com as principais etapas para a realização do ensaio de lixiviação, deve ser considerada que o resíduo ou, nesse caso, o solo, apresenta-se 100% sólido em partículas, considerando análise de metais realizada com solução de HNO_3 1,0N (ABNT, 2004b). Em seguida, na **Figura 6.3.1-4**, é exibida a localização dos pontos de investigação.

Figura 6.3.1-3 - Principais etapas para a realização do ensaio de lixiviação.
 FONTE: (ABNT, 2004b).

Figura 6.3.1-4 - Localização dos pontos de investigação com instalação das sondagens para coleta de solo, amostragens de águas subterrâneas e para análise NBR.

FONTE: (FIT, 2010).

6.4 Obtenção de dados hidráulicos do aquífero local

6.4.1 POTENCIOMETRIA

O conhecimento sobre a água e mais especificamente a água que flui sobre o meio subterrâneo remonta séculos. Solucionar questões sobre sua origem, seu destino ou mesmo sua quantidade tem sido o desafio ao longo dos tempos por cientistas, hidrólogos, geólogos e engenheiros (CABRAL, 2000). Dessa forma, estes estudos auxiliaram, não somente no entendimento de todo o percurso da água na Terra, em seus diversos estados, mas também ao desenvolvimento do que se conhece hoje como hidrogeologia.

Uma premissa básica direcionadora de muitas experiências é a de que a água está sempre em movimento, sendo a água subterrânea, se movendo de áreas com alto potencial hidráulico para as áreas de baixo potencial (CLEARY, 1989). O conceito de potencial é largamente utilizado em várias ciências, sendo a principal e talvez a mais conhecida, a física. Para Hubbert (1990), em hidrogeologia, o potencial hidráulico pode ser definido como sendo, “uma quantidade física, capaz de ser medida em cada ponto do escoamento, cujas propriedades são tais que o escoamento sempre ocorre dos pontos com maior potencial para os pontos com menor potencial, independente da direção no espaço”.

A energia mecânica envolvida no escoamento de um líquido compõe-se da energia cinética, energia potencial gravitacional e energia de pressão. Como, nas águas subterrâneas, as velocidades são muito baixas (centímetros por dia), a energia cinética pode ser desprezada o que resulta em uma energia mecânica por unidade de massa tida como potencial hidráulico (CABRAL *op. cit.*). Segundo o autor, o potencial hidráulico em ponto qualquer é a própria carga hidráulica nesse ponto. A carga hidráulica constitui-se, basicamente da diferença da cota ou altitude do ponto e o nível d'água no ponto.

Através do nivelamento dos poços existentes e das medições dos níveis d'água levantados no monitoramento realizado, foram estabelecidas as cotas do nível d'água, ou superfície potenciométrica. Estes dados foram plotados e interpolados entre as diferentes cotas, utilizando-se o *surfer 8, softwer* de

interpolação comumente utilizado no cálculo e confecção de mapas de variáveis regularmente espacializados (LANDIM, 2000), obtendo como produto final o mapa potenciométrico para a área.

6.4.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K)

Já a condutividade hidráulica, é a medida da habilidade do aquífero de conduzir água sob a influência do gradiente de uma superfície potenciométrica. É uma propriedade tanto do meio poroso quanto do fluido que o atravessa. Quanto maior a condutividade, melhor o aquífero em conduzir água (CLEARY, 1989). A interpretação dos dados foi realizada com a utilização da equação de Bouwer e Rice (1976), para os ensaios realizados no aquífero livre. Abaixo, são apresentadas as características geométricas empregadas pelo respectivo método bem como os dados e dimensões de um exemplo em poço de monitoramento para o aquífero superficial Flórida.

Figura 6.4.2-1 - Características geométricas para determinação do Coeficiente de Permeabilidade (k).

FONTE: (BOUWER; RICE, 1979).

Quadro 6.4.2-1 - Dados construtivos de poço de monitoramento para o aquífero superficial Flórida.

DADOS	
Construção:	
Diâmetro do poço (d_c)	2 Polegada
Diâmetro do furo (d_w)	4 Polegada
Comprimento Filtro (L)	3 Metros
Profundidade até:	
nível d'água (DTW)	8.13 Metros
topo do filtro (TOS)	6.52 Metros
Base Aquífero (DTB)	25 Metros
Preenchimento do furo:	
Ao longo do filtro -- Areia Grossa	
Acima do filtro -- Bentonita	
Material do Aquífero -- Aquífero Superficial, Flórida	

FONTE: (BOUWER; RICE, 1979).

Através dos ensaios de recuperação executados nos poços de monitoramento PM's 03, 04 e 12 foi obtido o valor da condutividade hidráulica no meio analisado.

Os ensaios foram realizados mediante a introdução de uma bomba *wale* no interior do revestimento do poço, de modo que o nível d'água (NA) sofresse rebaixamento com o bombeamento da água em seu interior. Após o encerramento do bombeamento, monitorando-se o posicionamento do nível d'água, obtém-se uma curva de recuperação do NA com o tempo. Desta curva são extraídos os parâmetros que, juntamente com as características geométricas do poço, fornecem o valor de condutividade hidráulica.

6.4.3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Conforme observado, a água está sempre em movimento e seu escoamento está relacionado a fatores de ordem física como a condutividade hidráulica e gradiente hidráulico e a fatores de ordem química (CLEARY, 1989). Para o autor, se por um lado, variações obtidas nos valores de carga de pressão movimentam a água no subsolo, por outro, esse movimento pode ser dificultado pela viscosidade do fluxo. A Lei de Darcy expressa a velocidade macroscópica do fluxo d'água (q) no

meio poroso (ou seja, velocidade média), admitindo-se que o solo é um meio uniforme e todas as variáveis representam funções contínuas no espaço e no tempo (CABRAL, 2000).

6.5 Obtenção de dados físico-químicos e amostragem

6.5.1 AMOSTRAGENS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A amostragem dos poços foi realizada por meio de duas metodologias de amostragem. A primeira por meio da micro purga / baixa vazão ou *Low Flow*, na denominação em inglês e por pelo método da purga de três vezes o volume de água em cada poço.

A amostragem pelo método de baixa vazão visa a purga dos poços de monitoramento com o mínimo de estresse e a coleta de amostras de água subterrânea que sejam representativas das condições hidrogeológicas naturais, por meio do controle de entrada de água na bomba de amostragem por uma vazão que limite o rebaixamento do nível de água de dentro do poço. O controle da entrada de água subterrânea no interior do poço e a definição do momento de sua amostragem são determinados através do monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos (pH, CE, Eh e Temperatura) da água bombeada, no interior de uma célula de fluxo (CETESB, 2004).

A amostragem pelo método de baixa vazão foi conduzida de acordo com as normas elaboradas pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*): “*Region I – LOW STRESS (LOW FLOW) PURGING AND SAMPLING PROCEDURE FOR THE COLLECTION OF GROUND WATER SAMPLES FROM MONITORING WELLS*” (USEPA, 2010) e “*Region II – GROUND WATER SAMPLING PROCEDURE LOW STRESS (LOW FLOW) PURGING AND SAMPLING*” (USEPA, 1998), além das orientações do “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas” (CETESB, 2004) no capítulo de amostragem de água subterrânea, que é baseado na norma NBR 13895 e no Anexo IV da Decisão de Diretoria nº 010/2006/C. Seguem as principais etapas realizadas:

Medição do nível de água: foram medidos o nível estático da água subterrânea e a profundidade do poço.

- ✓ **Instalação da bomba:** considerou-se a profundidade mínima de instalação da bomba a 0,40 metros acima do fundo do poço, como forma de prevenir distúrbios nos sedimentos possivelmente depositados e para garantia de que a bomba ficasse totalmente submersa.
- ✓ **Purga do poço:** iniciou-se o bombeamento com a vazão mínima da bomba para adaptação aos parâmetros hidráulicos do aquífero no local. A vazão da bomba foi medida por meio de uma proveta graduada, e a mesma não ultrapassou os 250 mL/min.
- ✓ **Monitoramento do rebaixamento do nível de água,** visando uma razão de fluxo estável, que resulta num nível de água também estável, com rebaixamento máximo de 10 cm. Este monitoramento foi efetuado aproximadamente a cada 5 minutos.
- ✓ **Monitoramento de parâmetros indicadores:** Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade Elétrica e Potencial redox (Eh) foram medidos em intervalos entre 3 a 5 minutos, através de uma célula de fluxo contínuo acoplada à mangueira de saída de água do poço. Para turbidez considerou-se o aspecto visual da água em completamente límpida e translúcida. Considerou-se estável e pronto para amostragem quando os parâmetros apresentaram três leituras iguais consecutivas, dentro dos seguintes intervalos de diferenças (PULS; BARCELONA, 1996):
 - $\pm 0,1$ para pH;
 - 3 % para CE;
 - 10 mV para Eh;
 - 0,3 mg/l para OD.

I. Procedimento de coleta: as amostras foram coletadas com uma vazão entre 10 e 250 mL/min, de forma que os frascos fossem preenchidos com o mínimo de turbulência.

II. Acondicionamento das amostras: as amostras foram acondicionadas em frascos apropriados e acondicionadas em local refrigerado de acordo com o parâmetro a ser amostrado: 1 frasco plástico com HNO_3 pH < 2, para Chumbo.

III. Descontaminação dos equipamentos não descartáveis: apenas a bomba de amostragem e a célula de fluxo foram descontaminadas entre cada amostragem. Os demais materiais utilizados (mangueiras, cabos e bexigas da bomba) foram descartados após cada amostragem.

Na **Foto 6.5.1-1**, é mostrado o equipamento utilizado nessa campanha de amostragem.

Foto 6.5.1-1 - Equipamentos de amostragem pelo método de baixa vazão.

FONTE: (FIT, 2009b)

Na imagem destaca-se a água com elevada turbidez na célula de fluxo e a significativa diminuição após a passagem pelo filtro, já no frasco de coleta. Na parte central tem-se a caixa controladora que tem a função de regular a carga de ar que entra no poço e a vazão de saída. O equipamento utilizado para a leitura dos parâmetros físico-químicos foi a sonda multiparâmetros HI 9828 da HANNA, cujas principais especificações são apresentadas no **Quadro 6.5.1-1**.

Quadro 6.5.1-1 - Especificações técnicas de equipamento

pH	Gama	0.00 a 14.00 pH
	Resolução	0.01 pH
	Precisão	±0.02 pH
ORP	Gama	±2000.0 mV
	Resolução	0.1 mV
	Precisão	±1.0 mV
Oxigênio Dissolvido	Gama	0.0 a 500.0% / 0.00 a 50.00 mg/L
	Resolução	0.1% / 0.01 mg/L
	Precisão	0.0 a 300.0%: ±1.5% da leitura or ±1.0% o que for maior; 300.0 a 500.0%: ±3% da leitura; 0.00 a 30.00 mg/L: ±1.5% da leitura ou 0.10 mg/L o que for maior; 30.00 mg/L a 50.00 mg/L: ±3% da leitura
Condutividade	Gama	0.000 a 200.000 mS/cm (EC absoluto até 400 mS/cm)
	Resolução	Manual: 1 µS/cm; 0.001 mS/cm; 0.01 mS/cm; 0.1 mS/cm; 1 mS/cm; Automático: 1 µS/cm de 0 a 9999 µS/cm; 0.01 mS/cm de 10.00 a 99.99 mS/cm ; 0.1 mS/cm de 100.0 a 400.0 mS/cm; Automático mS/cm: 0.001 mS/cm de 0.000 a 9.999 mS/cm; 0.01 mS/cm de 10.00 a 99.99 mS/cm; 0.1 mS/cm de 100.0 a 400.0 mS/cm
Temperatura	Gama	-5.00 a 55.00°C; 23.00 a 131.00°F; 268.15 a 328.15K
	Resolução	0.01°C; 0.01°F; 0.01K
	Precisão	±0.15°C; ±0.27°F; ±0.15K

FONTE: Manual *HANNA*.

Nas campanhas de amostragem seguintes, foi adotado como procedimento de amostragem da purga de três vezes o volume de água contido em cada poço, sendo a coleta realizada após a estabilização do nível de água dos poços.

Nas fotos a seguir são apresentadas algumas etapas da coleta por esse método, realizado nos dias 27 e 28 de outubro/2012, já no contexto da aquisição de dados para a presente dissertação. As **Fotos 6.5.1-2** e **Foto 6.5.1-3** ilustram o processo inicial do método, a medição do nível d'água.

Foto 6.5.1-2 – Medição com equipamento fita eletrônica (*interface*) para determinação do nível de água e profundidade no poço.

Foto 6.5.1-3 – Detalhe do equipamento utilizado no poço de monitoramento (PM-03).

A purga foi executada lentamente, de forma a não causar rebaixamento excessivo do nível d'água subterrâneo, evitando assim o chamado efeito cascata nos poços.

Foto 6.5.1-4 – Balde de plástico utilizado durante a purga dos poços, remoção de água estagnada no poço. Nota-se a turbidez da água encontrada na maioria dos poços, ex: (PM-11).

Após este processo, aguardou-se a recuperação do nível d'água, a pelo menos 70% do valor original, para posterior realização da amostragem (CETESB, 2001).

Na sequência a realização da purga, os poços apresentaram uma nítida redução da turbidez, como pode ser verificado na **Foto 6.5.1-5**.

Foto 6.5.1-5 – Aparência da Água após a purga (mais clara em função da menor carga de sólidos dissolvidos).

As coletas foram realizadas com amostradores descartáveis de polietileno do tipo *bailer*, sendo o primeiro volume de água descartado e os seguintes amostrados.

A água coletada foi armazenada em frascos fornecidos pelo laboratório: 1 Frasco de plástico de 500 mL com HNO_3 , $\text{pH} < 2$, para Metais para cada amostra.

As amostras de água subterrâneas para as amostras de metais foram filtradas “*in situ*” com filtro de poros de $0,45\ \mu\text{m}$ e os parâmetros físico-químicos (pH, Eh, OD e potencial redox) monitorados em célula de fluxo (**Foto 6.5.1-6**)

Todas as amostras foram preservadas em caixas térmicas com gelo enquanto permaneceram no campo e, posteriormente, conservadas em refrigerador a $4,0\ ^\circ\text{C}$ até o envio para o laboratório.

Foto 6.5.1-6 - Coleta da água com filtro 0,45 µm e leitura na célula de fluxo de parâmetros físico-químicos.

6.6 AQUISIÇÃO DE DADOS COMPLEMENTARES

6.6.1 SONDAGEM E ANÁLISES DO SOLO

A proposta de complementação aos estudos aqui apresentada foi feita admitindo se as limitações impostas pelo empreendimento, principalmente em relação à realização de sondagens na área. De forma a se obter dados sobre as características físicas e químicas do solo no dia 04/12/2013, foi realizada uma sondagem por meio de um ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), fora do empreendimento, mas próxima o suficiente para não haver alterações significativas em termos do contexto geológico local. A sondagem foi realizada pela empresa Prospec Engenharia Ltda., a sondagem foi executada com tubo de revestimento com diâmetro de 2 ½”, a resistência a penetração amostrador TERZAGHI com diâmetro externo de 2” e interno de 1 3/8”.

Durante a sondagem amostras de solo foram coletadas a cada metro compondo um total de 7 amostras, tendo a sondagem atingido a profundidade total de 7,45 metros. A localização da sondagem foi proposta de forma a se evitar problemas com estruturas subterrâneas, sendo localizado cerca de 9,00 metros do

poço mais próximo, PM-06. Na foto a baixo, é apresentada a localização da sondagem em relação a área de estudo.

Foto 6.6.1-1 – Sondagem para coleta de solo localizada ao lado do empreendimento.

O solo foi descrito segundo suas características macroscópicas, sendo examinado quanto às características físicas, primeiramente em campo e no laboratório da própria empresa de sondagem por geólogo analista. Além disso, foram anotadas as profundidades e as propriedades das camadas detectadas, assim como as diferentes características geológicas observadas nas sondagens. O solo coletado foi acondicionado em sacos do tipo *zip* e mantidos refrigerados até o envio ao laboratório. Abaixo, na **Foto 6.6.1-2**, pode se verificar a coleta do solo bem como seu acondicionamento.

Foto 6.6.1-2 - Coleta de solo ao lado do empreendimento.

O relatório dessa sondagem, apresentando a localização da sondagem, o perfil e classificação das camadas atravessadas podem ser consultados no Anexo II, ao final da presente dissertação.

As amostras de solo foram enviadas ao laboratório para que se fossem analisadas suas características físicas e químicas. Segundo Camargo *et al.* (2009), a identificação e a estimativa quantitativa e qualitativa das frações minerais, num sistema complexo e policomposto como o solo, exigem a aplicação de diversas análises. Assim, três análises foram realizadas para caracterização física e química do solo. A primeira análise foi a determinação da composição granulométrica segundo a técnica de peneiramento úmido/seco seguida de duas análises químicas sendo a primeira, a fluorescência de raio-x e a segunda, análise por difração de raio-x.

A análise granulométrica de um solo constitui-se basicamente da análise da distribuição do tamanho das partículas ou grãos que compõem este solo. A priori procura-se determinar a distribuição das diversas frações do solo, conforme seus

tamanhos ou granulometria. Estas frações do solo são expressas em porcentagens de peso da amostra tomada.

A análise granulométrica de um solo serve, entre várias aplicações, para orientar sobre sua classificação e o comportamento do mesmo quanto a sua utilização em obras civis por exemplo. (CAMARGO *et al.*, 2009). A classificação granulométrica do solo pode variar desde pedregulho, a fração mais finas como, areia, silte e argila. Diferentes normas tratam da classificação desses materiais, internacionalmente as mais conhecidas são as normas: A.S.T.M (*American Society for Testing Materials*), A.A.S.H.T.O. (*American Association for State Highway and Transportation Officials*), e M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*). Já no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 6502/95, define e classifica as rochas e solos conforme apresentado a seguir:

Bloco de rocha – Fragmentos de rocha transportados ou não, com diâmetro superior a 1,0 m.

Matacão – fragmento de rocha transportado ou não, comumente arredondado por intemperismo ou abrasão, com uma dimensão compreendida entre 200 mm e 1,0 m.

Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0 mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro em: pedregulho fino – (2 a 6 mm), pedregulho médio (6 a 20 mm) e pedregulho grosso (20 a 60 mm).

Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o diâmetro classificam-se em: areia fina (0,06 mm a 0,2 mm), areia média (0,2 mm a 0,6 mm) e areia grossa (0,6 mm a 2,0 mm).

Silte – solo que apresenta baixo ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm.

Argila – solo de graduação fina constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm. Apresentam características marcantes de plasticidade; quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas, quando seco, apresenta coesão suficiente para construir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos. Caracteriza-se pela sua plasticidade, textura e consistência em seu estado e umidade naturais.

Segundo ABNT (1984), os ensaios granulométricos de materiais granulares como areias e pedregulhos devem ser obtidos por meio da peneiração enquanto que a fração mais fina deve ser obtida por ensaios de sedimentação. Nos casos em que o solo apresenta-se constituído por materiais grossos e finos é recomendado a utilização conjunta de metodologias. A determinação da distribuição granulométrica foi realizada por peneiramento a úmido, utilizando um conjunto de peneiras com abertura de 2,36 mm (8 malhas); 1,8 mm (14 malhas); 0,60 mm (28 malhas); 0,30 mm (48 malhas); 0,15 mm (100 malhas); 0,074 mm (200 malhas); 0,037 mm (400 malhas) e 0,020 mm (635 malhas).

A técnica de fluorescência de raios X (FRX) constitui basicamente, de um método quanti-qualitativo baseado na medida das intensidades dos raios X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra. No ensaio, os raios X emitidos por um tubo de raios X, ou ou gama, excitam os elementos constituintes, o que repercute na emissão de, linhas espectrais com energias características do elemento e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento na amostra (CARNEIRO, 1996).

Na análise quantitativa, comparam-se os resultados da amostra desconhecida, fornecidos pelo equipamento, com resultados de análises de materiais cujos dados são previamente determinados. Através de curvas de calibração específicas para cada elemento são obtidos valores interpolados para as concentrações na amostra em análise. Paralelamente ao ensaio da análise química por FRX, é realizado para toda amostra, o ensaio de perda ao fogo. Neste ensaio, a amostra é calcinada a 1000 °C, e em seguida é feita uma análise da variação de massa da amostra. Desta forma, é possível somar à análise química dos 10 óxidos os valores correspondentes à água, carbonato e matéria orgânica presentes nas amostras, uma vez que os elementos mais leves como H, C e O não são detectados

pelo espectrômetro. A soma da perda ao fogo com as concentrações obtidas por FRX deve ser próxima de 100 %, nos casos em que outros elementos estão presentes apenas como traços.

A análise semiquantitativa é utilizada para analisar amostras desconhecidas que não são enquadradas nos programas analíticos comumente mais empregados. Dessa forma, tal análise é realizada com base em modelagens matemáticas da resposta do equipamento para cada elemento analisado. Desta forma, é possível avaliar a presença e quantificar os elementos mais pesados que o flúor presentes na amostra cuja porcentagem apresente valores acima de 0,1 %. As análises foram realizadas de forma a se obter dosagens quantitativas em pastilhas fundidas para determinação de elementos maiores, com determinações de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 e traços. As análises foram acompanhadas do ensaio de perda ao fogo.

Já na análise de Difração de Raio-X (DRX), realiza-se a identificação e quantificação das principais fases minerais presentes no solo. Não se pretende aqui discutir os fundamentos físicos sobre a análise, mas a princípio, na DRX, as ondas eletromagnéticas envolvidas no fenômeno são produzidas quando há um sistema de partículas eletricamente carregadas, frequentemente, elétrons (BRINATTI, 2001). A caracterização do material é dada quando a amostra finamente disposta em uma lâmina ou porta amostra, uma vez levada ao instrumento a amostra é rotacionada para que seja atingida por um feixe de raio-x. A medida que a amostra é rotacionada, um detector de raio-x captura os sinais difratados registrando uma série de picos (KLEIN; HURLBUT JR., 1999). Segundo Jenkins (1999), como qualquer material composto por arranjo cristalino ordenado, emite um padrão de difração, os diversos picos detectados auxiliam na detecção das fases minerais da respectiva amostra.

6.6.2 AMOSTRAGEM DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Assim, de forma a se avaliar, no primeiro momento, as condições físico-químicas do aquífero de forma a se estabelecer relações com a solubilidade do

chumbo em meio aquoso, foram realizadas duas campanhas de monitoramento das águas subterrâneas.

Na primeira, realizada em novembro de 2011, procurou-se avaliar as condições dos poços de forma a verificar sua integridade observando se não havia qualquer obstrução no seu interior. Essa verificação torna-se necessária, dado o histórico de reinstalações de poços ocorridos na área. Dessa verificação preliminar, foram escolhidos 7 poços para serem amostrados (PM-05, PM-06, PM-07, PM-09, PM-10 e PM-12), esses poços foram assim escolhidos por serem estes os poços cujo o chumbo tinha sido reportado de forma anômala (acima dos valores orientadores da CETESB). O poço PM-11, foi considerado o poço controle por não ter apresentado, em nenhum dos estudos realizados, a quantificação de contaminação. Esses poços foram amostrados nos dias 27 e 28 de outubro de 2012. O método de amostragem empregado foi de purga de três vezes o volume de água do poço, conforme apresentado nas **Fotos 6.6.2-1 a 6.6.2-5**.

Durante as atividades de vistoria na área observou-se que no terreno ao lado, sempre considerado, nos relatórios iniciais, como sendo uma área potencial de contaminação, estava abandonado e com acesso ao seu interior. Segundo os estudos apresentados, este terreno era utilizado por uma indústria.

Nas imagens históricas da área apresentada na **Figura 6.6.2-1**, é possível verificar o terreno, antes ocupado pela indústria e sua proximidade com a área em estudo dessa dissertação.

Em amarelo é possível verificar a área do terreno, ocupada desde antes de 1994, onde já apresentava uma edificação (Galpão). Nas imagens subsequentes verifica-se uma maior ocupação do terreno sendo, na imagem de 2006, verificado uma grande quantidade de tambores na área externa. A área sob estudo dessa dissertação, esteve quase sempre vazia até o início das atividades de construção do empreendimento imobiliário em 2008/2009.

Base Aerofotogrametria e projetos - 1994

Google Earth - 2002

Google Earth - 2005

Google Earth - 2008

Google Earth - 2010

Figura 6.6.2-1 – Imagens históricas da área sob investigação (vermelho) e o terreno da antiga indústria (amarelo).

FONTE: (FIT, 2010).

No terreno a situação observada era de completo abandono, com diversos materiais com grande potencial de alteração da qualidade do solo e águas subterrâneas o que pode ser considerado como um passivo ambiental.

A seguir na **Foto 6.6.2-1** a **Foto 6.6.2-8**, pode se ter uma breve ideia da situação do respectivo terreno.

Foto 6.6.2-1 - Interior do terreno ao fundo a área do condomínio (área de estudo).

Foto 6.6.2-2 - Disposição de recipientes de tintas e produtos químicos.

Foto 6.6.2-3– Tambores parcialmente queimados alguns com produto oleoso em seu interior.

Foto 6.6.2-4 – Antigo galpão com grande quantidade de tambores vazando, ao fundo é possível observar o condomínio.

Nesse galpão, além dos tambores estarem expostos e vazando todo o muro do lado direito está estruturalmente comprometido e com vários buracos por onde

uma grande quantidade desse material líquido verte até atingir o solo, já nos limites com o terreno vizinho, no caso, a área do condomínio sob estudo.

Foto 6.6.2-5 – Imagem superior do galpão no lado esquerdo a mancha deixada pelo material percolado.

Foto 6.6.2-6 - Manchas deixadas pelo material, ao fundo tem-se o condomínio.

Diante da possibilidade apresentada por esse terreno em contribuir com a contaminação encontrada na área de estudo, e tendo sido encontrado no terreno dois poços de monitoramento aptos a amostragem, procurou-se proceder com a coleta de forma a integrar a aquisição de dados complementar a investigação.

Os poços encontrados foram localizados cerca de dez metros do muro com o condomínio e distantes entre si cerca de 20 metros no rumo do muro com a rua.

Foto 6.6.2-7– Localização dos poços encontrados na área.

Os poços foram amostrados segundo a metodologia da baixa vazão com medição dos parâmetros físico-químicos em campo.

Foto 6.6.2-8– procedimento de amostragem detalhe para o filtro 0,45 micrometros para metais e ao lado localização do PT-02.

Tanto os poços do condomínio residencial sob estudo, quanto os dois poços do terreno abandonado, foram amostrados para análise de cátions e ânions além de Sílica, Alcalinidade e Sólidos Totais Dissolvidos. As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos segundo o parâmetro em questão, preservadas com HNO₃ ou H₂SO₄, ou refrigeradas a 4°C. Imediatamente após as atividades de amostragem, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para que fossem submetidas as análises laboratoriais o quanto antes dada a validade para cada composto esse procedimento é essencial a manutenção da qualidade da coleta tal como é preconizado no Guia de Preservação e Coleta de Amostras da CETESB (1987).

6.7 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

6.7.1 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS REALIZADOS PELA CONSULTORIA

Os estudos conduzidos pela consultoria empregaram análises baseada no histórico industrial da região e no histórico de ocorrência de chumbo no solo e nas águas subterrâneas da área. As análises foram realizadas no laboratório CORPLAB *Environmental Analytical Services*, sediado em São Paulo (SP), em conformidade com as seguintes metodologias analíticas:

- Metais, segundo o método EPA 3005A / USEPA 6010C ICP-AES - para a matriz solo e água subterrânea;
- Mercúrio, segundo o método EPA 7471B, para a matriz de solo e EPA 7470A para águas subterrâneas;
- Umidade do Solo, segundo método SM 2540G – *Total , Fixed, and Volatile Solids and Semisolid Samples*;
- Carbono Orgânico Total, (Titulometria).

Destaca-se que no solo foram analisados os metais Antimônio (Sb), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Mercúrio (Hg), Selênio (Se) e Zinco (Zn).

Nas águas subterrâneas, merece menção as análises realizadas em triplicada, ou seja, amostras enviadas a três laboratórios diferentes para análise de chumbo dissolvido. Tal reamostragem, foi conduzida com o objetivo de se confirmar a persistência do chumbo em meio aquoso. Essas análises revelaram que o chumbo ainda era reportado na água subterrânea não sendo, segundo FIT (2010), as anomalias observadas anteriormente oriundas de erros analíticos.

Uma questão de relevante importância, é o fato de se ter analisado apenas o chumbo, durante grande parte dos estudos, cabe ressaltar que outros cátions dissolvidos podem competir com o chumbo no aquífero, bem como podem influenciar na sua solubilização, sendo dessa forma, um dado importante na determinação dos fenômenos que ocorrem em meio aquoso.

6.7.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS DE COMPLEMENTAÇÃO AOS ESTUDOS

As amostras de solo foram enviadas ao Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica – Poli USP. Objetivando-se a determinação da composição química e identificação das principais fases minerais do solo, foram realizadas as análises por fluorescência de Raio-X (FRX) maiores e traços e difração de Raio-X (DRX). Os dados físicos analisados em questão ficaram restritos a classificação granulométrica e foram realizadas por peneiramento úmido/seco.

Durante a sondagem observou-se que o solo apresentava-se bastante homogêneo, não tendo sido detectada nenhuma estruturação diferente a comumente encontrada na área (solo de alteração de rocha gnáissica). Em função disso, as 7 amostras foram agrupadas de forma a se obter dados gerais de 4 pontos do perfil. As amostras foram agrupadas e compostas a partir de duas amostras simples da seguinte forma: (S-01 + S-02) compondo, a subamostra única SL-01; (S-03) = compondo, a subamostra SL-02; (S-04 + S-05) compondo, a subamostra única SL-03 e (S-06 + S-07) compondo, a subamostra única SL-04. O procedimento é apresentado, simplificado, abaixo.

Figura 6.7.2-1 - Fluxograma simplificado da amostragem de solo para investigação complementar

Segundo Alvarez e Guarçoni (2003), a análise de uma amostra composta faz-se necessário quando se busca determinar a composição média do solo de uma área e abster-se de conhecer a variabilidade. Para os autores outras limitações como quantidade de amostras disponibilidade de recursos logísticos e financeiros complementam as vantagens do método.

Para as análises efetuadas por fluorescência de Raio-X (FRX), os teores apresentados foram determinados por análise quantitativa em amostra fundida com tetraborato de lítio anidro, a comparação realizada com materiais certificados de referência na calibração Rochas TBL e na calibração Pro Trace para traço em material geológico. O modelo utilizado foi o Axios Advanced, marca PANalytical com perda ao fogo PF realizada a 1.050°C por 1h.

Já para a identificação das fases cristalinas, foi utilizado o método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios-x da marca PANalytical modelo X'Pert PRO com detector X' Celerator. As fases individuais foram obtidas por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD – *International*

Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical *Inorganic Crystal Structure Database* (2007).

Nas águas subterrâneas, as amostras também foram enviadas a CORPLAB para análise dos 7 poços de monitoramento escolhidos para serem amostrados. Para análise dos dois poços encontrados no terreno abandonado ao lado da área em estudo, as amostras foram enviadas EP Engenharia do Processo Ltda., todos parâmetros analisados para a matriz águas subterrâneas e em conformidade com as seguintes metodologias analíticas:

- Cloreto, segundo o método SM 4500-Cl⁻ B – *Argentometric Method*;
- Nitrito, segundo o método SM 4500-NO₂⁻ B - *Colorimetric Method*;
- Sólidos Totais Dissolvidos, segundo o método USEPA 160.1 – *Residue Filterable*;
- Sólidos Totais, segundo o método USEPA 160.3 – *Residue Total*;
- Alcalinidade, segundo o método USEPA 310.1 (*Titrimetric*, pH 4,5) / SM 2320 B – *Titration Method* / SM 4500-CO₂ D. – *Carbon Dioxide and Forms of Alkalinity by Calculation*;
- Sulfito, Segundo o método USEPA 377.1 – *Sulfite (Titrimetric)* / SM 4500-SO₃²⁻ - B – *Iodometric Method*;
- Metais, segundo o método EPA 3005A / USEPA 6010C ICP-AES;
- Nitrato, segundo método SM 4500-NO₃⁻ E – *Cadmium Method*;
- Sulfato, segundo método SM 4500-SO₄²⁻ E *Turbidimetric Method*.

Na amostragem do terreno, as análises foram conduzidas de forma a se analisarem os mesmos parâmetros, a exceção fica por conta dos parâmetros: Nitrito, Sólidos Totais Dissolvidos, Sulfito e Nitrato que não foram analisados.

7. RESULTADOS

7.1 HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO

A contaminação histórica na área inicia-se com os dados obtidos das análises de solo e águas subterrâneas do local com a instalação dos primeiros 5 poços de monitoramento. Nesses primeiros dados verificou-se que o solo já apresentava concentrações de vários metais que, embora as concentrações se mostrassem abaixo dos valores orientadores, se questionava sobre a qualidade ambiental da área em questão.

No **Quadro 7.1-1**, são apresentados os dados das 12 sondagens realizadas em 2010, conforme localização apresentada anteriormente na **Figura 6.3.1-4**. Essas sondagens foram realizadas a uma profundidade de 30 centímetros em uma camada subsuperficial de aterro composta de argila silto-arenosa vermelha, em seguida, foram encaminhadas ao laboratório para análise e comparação aos valores orientadores da CETESB para o ambiente residencial.

Quadro 7.1-1 - Principais Resultados Solo por ICP em função dos valores orientadores da CETESB, 2005.

Local da Coleta	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-05	ST-06	Valores Orientadores ⁽¹⁾
Metais (mg/kg)							
Profundidade de Coleta	30 (cm)						
Arsênio (As)	< 0,28	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	55
Bário (Ba)	45,0	164,0	36,0	21,0	20,0	93,0	500
Chumbo (Pb)	36,0	274,0	15,0	51,0	16,0	82,0	300
Cobre (Cu)	12,0	18,0	7,6	7,9	15,0	18,0	400
Cromo (Cr)	28,0	31,0	17,0	18,0	54,0	30,0	300
Níquel (Ni)	4,4	5,2	3,8	< 3,0	9,9	5,7	100
Zinco (Zn)	12,0	21,0	24,0	7,5	19,0	17,0	1000

(1) Valor orientador de intervenção no solo para ambiente residencial CETESB (2005); (< xx) Valor menor que limite de quantificação.

FONTE: (FIT, 2010).

Quadro 7.1-1 - Principais Resultados Solo por ICP em função dos valores orientadores da CETESB, 2005. (Continuação).

Local da Coleta	ST-07	ST-08	ST-09	ST-10	ST-11	ST-12	Valores Orientadores ⁽¹⁾
Metais (mg/kg)							
Profundidade de Coleta	30 (cm)						-
Arsênio (As)	3,4	4,3	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,31	55
Bário (Ba)	18,0	20,0	6,1	11,0	3,8	< 3,1	500
Chumbo (Pb)	25,0	22,0	20,0	20,0	15,0	45,0	300
Cobre (Cu)	7,7	9,7	15,0	12,0	19,0	15,0	400
Cromo (Cr)	22,0	9,4	31,0	34,0	18,0	176,0	300
Níquel (Ni)	4,1	5,0	3,8	3,6	< 3,0	3,3	100
Zinco (Zn)	29,0	16,0	11,0	14,0	12,0	19,0	1000

(1) Valor orientador de intervenção no solo para ambiente residencial CETESB (2005); (< xx) Valor menor que limite de quantificação.

Os resultados das amostras subsuperficiais sugeriram que o aterro pudesse assim ser uma fonte de contaminação para o aquífero, o que motivou, segundo dados constantes no relatório técnico de 2010, a coleta de uma amostra de solo a 6,5 metros de profundidade para caracterização segundo NBR 1004, logo abaixo da camada de aterro procurando assim obter dados representativos do solo natural. No **Quadro 7.1-2**, é apresentado o resultado mostrando que não foi quantificado Chumbo no extrato solubilizado, mas foi quantificado este composto na massa bruta e no extrato lixiviado.

A concentração encontrada é inferior ao limite máximo estabelecido pela norma. Desta maneira, estes ensaios indicam a possibilidade de mobilização do íon chumbo naturalmente presente no solo (como determinado no ensaio de massa bruta) para a água subterrânea durante a percolação desta, em condições favoráveis.

Quadro 7.1-2 – Resultados do ensaio NBR para a sondagem ST-05.

Parâmetro	ST-05	Limite máximo
Massa Bruta		
Pb (mg/kg)	58	
Lixiviado (ANEXO F da NBR 10004: 2004)		
Pb (mg/L)	0.070	1
Solubilizado (ANEXO G da NBR 10004: 2004)		
Pb (µg/L)	<0.01	0.01
Classe do resíduo	Não perigoso-Inerte (IIB)	

FONTE: (FIT, 2010).

A concentração do chumbo como se tem verificado, é condicionada por diversos fatores que controlam sua dinâmica entre o solo e água. Em Taboão da Serra, na respectiva área de estudo, o histórico da contaminação evidencia as ocorrências anômalas do chumbo na água subterrânea.

No **Quadro 7.1-3**, é apresentado os resultados obtidos durante os estudos ambientais da consultoria realizados na área, a partir dos quais se elaborou o **Gráfico 7.1-1** e as plumas de isoconcentrações em seguida.

Quadro 7.1-3 - Resultados Históricos (maio de 2008 a abril de 2012) de chumbo nas águas subterrâneas.

	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	Valor Orientador ⁽¹⁾
	Concentração de Pb (µg/L) por ICP-MS						
mai-08	<10,0	23,1	<10,0	24,6	24,7	n.e	10
ago-09	n.a	39,0	n.a	20,0	n.a	59,0	
nov-10	<10,0	<10,0	<10,0	32,0	14,0	26,0	
jan-11	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	
set-11	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	20,0	<10,0	
abr-12	<10,0	<10,0	30,0	<10,0	<10,0	<10,0	

	PM-07	PM-08	PM-09	PM-10	PM-11	PM-12	Valor Orientador ⁽¹⁾
	Concentração de Pb (µg/L) por ICP-MS						
mai-08	n.e	n.e	n.e	n.e	n.e	n.e	10
ago-09	23,0	39,0	n.e	n.e	n.e	n.e	
nov-10	<10,0	<10,0	90,0	84,0	<10,0	<10,0	
jan-11	<10,0	<10,0	30,0	67,0	<10,0	<10,0	
set-11	21,0	<10,0	34,0	41,0	<10,0	<10,0	
abr-12	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	35,0	

(1) Valores orientador de intervenção CETESB (2005)

concentrações em negrito estão acima do valor orientador

(n.e) Não existiam

(n.a) Não analisados - destruídos

(< 10,0) Menor que o limite de quantificação

FONTE: (FIT, 2009a e b, 2010, 2011a e b, 2012).

Gráfico 7.1-1 - Concentrações históricas de chumbo no aquífero local.

FONTE: (FIT, 2009a e b, 2010, 2011a e b, 2012).

No gráfico elaborado a partir da análise dos resultados contidos nos relatórios da FIT (2009 a e b, 2010, 2011a e b, 2012), é possível notar que em grande parte, todas as investigações foram reportadas com concentrações de chumbo acima do valor orientador para chumbo em água subterrânea (10 µg/L - CETESB, 2005) identificada no gráfico com a coluna destacada em cinza. Também é possível verificar que, ao menos nos meses de janeiro e setembro de 2011 (períodos de chuva e estiagem, respectivamente), foram reportados valores maiores nos meses de maior precipitação pluviométrica em relação ao de menor, indicando como um dos condicionantes potenciais prováveis à ocorrência do chumbo na área, o fator da sazonalidade.

A **Figura 7.1-1** apresenta a pluma de isoconcentrações do chumbo dissolvido na água. A pluma foi desenhada utilizando-se o programa de interpolação *surfer 8* e o AutoCad 12.

Figura 7.1-1 - Pluma de Chumbo (Nov/2010)

FONTE: (FIT, 2010).

Segundo análise da pluma de isoconcentrações de (2010), os poços de monitoramento, PM-04, PM-05, PM-06, PM-09 e PM-10, exibiram concentrações superiores ao encontrado no PM-11 (poço de referência) bem como acima do valor orientador (CETESB, 2005) de 10 µg/L para o chumbo. Verifica-se também que a pluma apresenta as maiores concentrações fora do empreendimento nos poços PM-09 e PM-10 onde foram reportadas as concentrações de 90 µg/L e 84 µg/L, respectivamente.

Por outro lado, no ano de 2011, a quantificação do chumbo dissolvido foi observada em concentrações superiores ao valor orientador apenas nos poços PM's 09 e 10, locados em área externa ao empreendimento. Segundo relatório técnico da FIT (2011), as concentrações observadas nessa campanha, mostra que o chumbo na água subterrânea não necessariamente se correlaciona à área, uma vez que os poços são externos a área em questão e estão situados em posição lateral a área. Destaca-se que esses pontos foram locados visando delimitar lateralmente uma possível pluma de chumbo proveniente da área adjacente. Os estudos concluíam ainda que, a detecção de concentrações acima dos valores orientadores, não esperados para estes pontos, evidenciava certa dificuldade e/ou impossibilidade de sua delimitação.

7.2 Reavaliação Geoquímica Ambiental

7.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS LOCAIS

A geologia regional na qual a área está inserida compreende o contexto geológico das rochas pré-cambrianas ou segundo Araújo (2010), o domínio dos terrenos cristalinos, da região metropolitana de São Paulo, mais precisamente do Complexo Embu formado por rochas metamórficas como gnaisses e migmatitos heterogêneos. O autor lembra ainda que esses terrenos circundam a Bacia Sedimentar de São Paulo, principalmente nos setores oeste, sul e leste onde a topografia admite vertente cujos processos de evolução foram mais intensos.

Localmente, a área em estudo está assentada sobre um solo de alteração de rocha gnáissica, que consiste em uma porção mais superficial de aterro que se inicia no PM-04 e se estende até o PM-08. Entre os PM's 04 e 07 essa camada é rasa não ultrapassando mais que 2,0 metros de profundidade, a partir do PM-07 a camada se torna mais espessa atingindo 5,0 metros no PM-05. O aterro é composto por solo autóctone, ou seja, pertenceu a própria área tendo perdido sua estruturação original durante as atividades de terraplanagem da área, o que repercute na sua composição, essa camada é composta por silte arenoso com entulho localmente e em algumas sondagens apresentou uma coloração marrom na superfície indicando vestígios de um horizonte húmico que sustentava a vegetação que havia no terreno.

Abaixo da camada de aterro é encontrado o solo natural, caracteristicamente um solo de alteração sendo ainda possível observar alguma estruturação da rocha, compõe se basicamente de silte arenoso (com areia fina a média), vermelho, com alternância de leitos leucocráticos bastante intemperizados (caulim argila do tipo 1:1, variedade caolinita). De forma menos abundante, ocorrem camadas mais arenosas intercaladas a fração mais siltosa.

A geologia da área de estudo foi definida através das sondagens, que foram descritas sob o ponto de vista de suas características geológicas naturais e dos impactos sofridos observados. No que diz respeito às características geotécnicas do solo, uma amostra indeformada foi coletada e analisada quanto os parâmetros Densidade Aparente, Porosidade Efetiva, Porosidade Total, Carbono Orgânico Total TOC e Umidade. Os resultados são apresentados no **Quadro 7.2.1-1**.

Quadro 7.2.1-1 - Características geotécnicas.

Parâmetros	unidade	AI
AMOSTRA INDEFORMADA		
Densidade Aparente	g/cm ³	1,63
Porosidade Efetiva	%	5
Porosidade Total		35
TOC		0,99
Umidade		30,1

FONTE: (FIT, 2010).

A sondagem a percussão realizada como complementação aos estudos, apresenta as mesmas características geológicas conforme descritas acima. A informação diferente as apresentadas consiste no fato de o solo ter apresentado uma resistência a penetração variando de 5 a 7, o que segundo a norma classifica o solo entre pouco compacto e médio (ABNT, 2001).

No **Quadro 7.2.1-2**, é apresentada a tabela de estados de compactidade e consistência segundo a qual é verificada a convergência quanto a designação do solo apresentado pela interpretação das sondagens da consultoria e a realizada na ocasião da presente dissertação.

Segundo as duas interpretações o solo pode ser classificado como Silte argilo-arenoso.

Quadro 7.2.1-2 - Estados compactidade e resistência do solo

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)
¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.		

FONTE: (ABNT, 2001).

De fato, a classificação granulométrica realizada nas amostras enviadas ao laboratório também sugere tratar-se de um solo cujas frações estão compreendidas

nessa faixa granulométrica. Na **Tabela 7.2.1-1**, é apresentada a distribuição granulométrica obtida na sondagem para complementação dos dados geológicos e químicos do solo. Em seguida, na **Figura 7.2.1-1** tem-se a projeção da distribuição granulométrica das amostras obtidas na sondagem de complementação.

Conforme é possível verificar, o solo apresenta características granulométricas bastante semelhantes, independentes da profundidade, a fração argilosa é marcante no perfil, até pelo menos os 7,45 metros, onde se encerra a sondagem.

Tabela 7.2.1-1 - Distribuição granulométrica do solo (sondagem complementar).

Amostras	Fração (%)		
	Areia	Silte	Argila
SL-01	15	42	43
SL-02	13	40	47
SL-03	11	39	49
SL-04	25	39	36

Figura 7.2.1-1 – Projeção da distribuição granulométrica da sondagem complementar (SL-01 a SL-04) no diagrama triangular de SHEPARD (1954).

Na **Figura 7.2.1-2**, pode ser observada a direção da seção geológica A-A', apresentada na **Figura 7.2.1-3**, elaborada com base nas informações obtidas na instalação dos poços PM-12, PM-04, PM-07, PM-05, PM-08 e PM-06, de direção noroeste-sudeste. Conforme pode ser observado no perfil, a área do condomínio apresenta uma diferença topográfica de quase 10 metros, na parte central a área é relativamente plana devido às intervenções de terraplanagem que ocorrera nas etapas iniciais de construção dos prédios.

Figura 7.2.1-2 - Direção da seção geológica considerada na elaboração do perfil geológico.

FONTE: (FIT, 2010).

Figura 7.2.1-3 - Perfil geológico local da área de estudo – Taboão da Serra.
FONTE: (FIT, 2010).

7.2.2 ASPECTOS QUÍMICOS DO SOLO

Após as análises para reconhecimento da geologia local, buscou-se também, uma vez que a interpretação geológica da sondagem complementar realizada ao lado da área sob estudo, apresentou as mesmas características das sondagens realizadas pela consultoria, o que mostra a homogeneidade do solo na área, foi proposta uma análise química com vista a determinação da constituição química e mineralógica desse solo.

As características químicas do solo foram definidas pelas análises das quatro amostras compostas (SL-01 a SL-04), que foram analisadas quanto suas características composicionais bem como da determinação de suas principais identidades minerais.

Foi então conduzida a análise pelo método de fluorescência de Raio X e difração de Raio X. A seguir, na **Tabela 7.2.2-1**, é apresentada os dados da composição química obtida pela análise de fluorescência de Raio X para as quatro amostras de solo em questão SL-01 a SL-04. Em seguida é apresentado o **Gráfico 7.2.2-1**, para o mesmo conjunto de dados.

Tabela 7.2.2-1 - Composição química do solo por (FRX).

Compostos	Amostras			
	SL-01	SL-02	SL-03	SL-04
% em óxidos				
SiO ₂	63,3	59,5	56,7	70,5
Al ₂ O ₃	21,3	23,2	24,9	18,1
Fe ₂ O ₃	5,88	6,81	7,13	3,52
MnO	0,07	0,07	0,02	0,17
MgO	0,1	0,09	0,1	0,06
CaO	0,1	0,09	0,1	0,04
Na ₂ O	0,03	0,02	0,03	0,01
K ₂ O	0,97	1,01	0,88	0,52
TiO ₂	0,67	0,79	0,88	0,37
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,08	0,05
PF (Perda ao Fogo)	7,31	8,06	8,54	6,44

Gráfico 7.2.2-1 - Distribuição da composição química do solo.

Com o gráfico acima é possível verificar que o solo é constituído basicamente em elementos ricos em óxidos de silício e alumínio (silicatos). Outros elementos contribuem em quantidades variáveis, mas bastante reduzidas em relação aos primeiros.

Os elementos traços presentes no solo foram determinados, segundo Guilherme *et al.* (2005), embora presentes nos solos naturalmente, podem causar danos potenciais aos solos e sistemas aquáticos tanto superficiais quanto subterrâneos o que justifica sua quantificação. Na **Tabela 7.2.2-2** são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 7.2.2-2 – Resultados de elementos traços das amostras complementares de solo

Amostras	SL-01	SL-02	SL-03	SL-04
	(mg/kg)			
Antimônio (Sb)	<10	<10	<10	<10
Arsênio (As)	11	<10	<10	20
Bromo (Br)	17	<10	<10	<10
Cádmio (Cd)	<10	<10	<10	<10
Chumbo (Pb)	47	48	29	46
Cobalto (Co)	< 10	<10	<10	22
Cobre (Cu)	20	26	28	26
Cromo (Cr)	153	230	138	174
Manganês (Mn)	450	542	93	1420
Níquel (Ni)	17	21	14	34
Zinco (Zn)	26	32	38	41
Zircônio (Zr)	167	203	230	184

Conforme é verificado, os valores obtidos para a composição de traços no solo indicam que o solo apresenta elementos de interesse ambiental como Arsênio e Cromo conforme foi verificado nos dados da consultoria. No entanto, não há a possibilidade de se avaliar os dados quanto a prováveis valores de *background* para a área, pois durante a investigação da consultoria não se obteve a distribuição desses elementos em profundidades superiores a 0,30m.

Em seguimento as determinações da composição química do solo, os dados apresentados a seguir, constatarem a presença de cinco principais fases minerais. Cabe ressaltar que a composição obtida é praticamente homogênea no perfil até os 7,45 metros, o que de certa forma corrobora com os dados de sondagem quanto a homogeneidade do solo.

Quadro 7.2.2-1 – Resultados Difração de Raio X (DRX).

Nome do Composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
Dióxido de Silício	SiO ₂	Quartzo	-
Silicato de alumínio hidratado	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	Caulinita	-
Silicato de potássio, alumínio, hidratado	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Muscovita	-
Dióxido de Ferro	Fe ₂ O ₃	Hematita	Mineral Provável
Dióxido de Titânio	TiO ₂	Anatásio/Rutilo	pp ⁽¹⁾

(1) possível presença

7.3 Condições hidráulicas do aquífero

O aquífero local interceptado pelas sondagens pode ser considerado pertencente ao Sistema Aquífero Cristalino em sua parte superior, composto basicamente por rocha alterada. Trata-se de um aquífero que se comporta como do tipo poroso (livre), cuja recarga é assegurada pela infiltração de águas de chuva (CABRAL, 2000).

A potenciometria da área, caracterizada por meio da malha de poços instalados apresenta o nível d'água subterrânea a profundidades entre 5,00 e 10,18 metros. Na **Tabela 7.3-1**, é apresentado os valores dos níveis d'água estabelecidos ao longo das investigações realizadas na área.

Tabela 7.3-1 – Variação histórica do nível d'água

Poços	Janeiro (2011)	Setembro (2011)	Abril (2012)	Outubro (2012)
	N.A. (m)			
PM-01	6,81	7,36	7,40	7,17
PM-02	6,02	6,24	5,00	5,60
PM-03	7,78	7,88	6,50	7,11
PM-04	6,8	7,02	5,74	6,52
PM-05	9,05	9,68	8,06	9,10
PM-06	6,16	7,58	6,09	6,95
PM-07	7,27	7,86	6,41	7,40
PM-08	5,38	7,34	5,60	6,56
PM-09	8,58	9,03	7,90	8,50
PM-10	8,18	8,67	7,76	8,40
PM-11	8,54	9,06	7,30	8,78
PM-12	10,18	10,5	8,86	8,90

FONTE: (FIT, 2009a e b, 2010, 2011a e b, 2012).

Como pode ser observado na tabela acima, o nível d'água não apresenta grandes variações de profundidade o que indica uma recarga praticamente

constante do aquífero. No **Gráfico 7.3-1**, pode se observar mais claramente a variação do nível d'água local.

Gráfico 7.3-1 – Variação históricas do nível d'água no aquífero local

FONTE: (FIT, 2009a e b, 2010, 2011a e b, 2012).

A partir dos dados levantados dos níveis d'água integrando aos dados de topografia dos poços, pode se estabelecer o nível d'água médio pra área bem como a carga hidráulica média encontrada nos poços, apresentando dessa forma a potenciométrica média para o aquífero.

Na **Tabela 7.3-2**, é apresentado os dados referentes aos parâmetros para a elaboração da potenciométrica do aquífero local. O mapa foi confeccionado utilizando-se o programa de interpolação *surfer*.

Tabela 7.3-2 – Potenciometria média para o aquífero local

Poços	Cota Topográfica	Nível d'Água	Carga Hidráulica
		(m)	
PM-01	100,472	7,19	93,287
PM-02	103,955	5,72	98,240
PM-03	106,065	7,32	98,748
PM-04	106,016	6,52	99,496
PM-05	104,770	8,97	95,798
PM-06	99,809	6,70	93,114
PM-07	105,218	7,24	97,983
PM-08	100,070	6,22	93,850
PM-09	99,348	8,50	90,846
PM-10	100,410	8,25	92,158
PM-11	111,553	8,42	103,133
PM-12	111,661	9,61	102,051

A partir da potenciometria local é possível estabelecer-se o mapa potenciométrico apresentado a seguir na **Figura 7.3-1**. Segundo os dados, é possível verificar que na área o fluxo da água subterrânea se dá preferencialmente para sudeste cujo gradiente hidráulico calculado foi de 9,33%.

Figura 7.3-1 - Mapa potenciométrico para a área

FONTE: (FIT, 2009b).

A velocidade da água subterrânea foi estabelecida através dos ensaios de recuperação *slug test* conforme Bouwer e Rice (1976), realizados nos poços de monitoramento PM's 01, 02, 06, 07 e 08 sendo estabelecida a condutividade hidráulica média para a área em $3,4 \times 10^{-5}$ cm/s (média geométrica). Na **Tabela 7.3-3**, pode ser observados dados para cada poço ensaiado.

Tabela 7.3-3 – Coeficientes de permeabilidade para a área

Poço de Monitoramento	K (cm/s)
PM-01	7,60E-06
PM-02	8,20E-06
PM-06	5,30E-05
PM-07	3.40E-05
PM-08	1,40E-05

FONTE: (FIT, 2009b).

A partir dos valores da condutividade hidráulica média ($3,4 \times 10^{-5}$ cm/s), da porosidade efetiva (5,0%) obtida com a análise do parâmetro geotécnico e do gradiente hidráulico (9,33%) verificado, foi estabelecida a velocidade linear média para a água subterrânea, em 5,48 cm/dia, ou 20 m/ano. A velocidade média de Darcy foi calculada em 0,274 cm/dia, ou 1,00 m/ano.

7.4 CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO AQUÍFERO

7.4.1 CONDIÇÕES AQUÍFERAS DA ÁREA DE ESTUDO

O conhecimento das condições físico-químicas do aquífero local é elemento fundamental e básico ao entendimento de possíveis associações que pode ter sido o precursor ou precursores da solubilização do chumbo para o aquífero. Dessa forma, são apresentados a seguir, os dados de pH, oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxi-redução (Eh) e condutividade elétrica (CE) no aquífero em questão. Os dados são apresentados aqui de forma a se comparar a variação dos parâmetros em função das amostragens para coletas de águas subterrâneas na área.

Tabela 7.4.1-1 – Variação do pH no aquífero durante a etapas de amostragens de águas subterrâneas.

Poço	pH (Nov/2010)	pH (Jan/2011)	pH (Abr/2012)	pH (Out/2012)
	(± 0,02)			
PM-01	8,26	7,85	7,27	7,39
PM-02	8,93	7,45	7,43	7,12
PM-03	8,67	7,22	6,31	6,45
PM-04	8,45	6,85	7,34	5,43
PM-05	8,81	7,58	6,30	6,37
PM-06	8,25	8,15	6,14	6,45
PM-07	9,01	7,20	6,61	6,71
PM-08	8,68	7,64	6,60	6,68
PM-09	7,91	8,42	6,04	6,6
PM-10	8,30	7,66	5,43	5,46
PM-11	9,07	6,88	6,60	6,79
PM-12	8,87	6,88	6,60	6,68

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

No **Gráfico 7.4.1-1**, pode ser visualizada a variação apresentada pelo pH durante as etapas de investigações ambientais ocorridas na área.

Gráfico 7.4.1-1 – Variação do pH no aquífero.

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

A visualização preliminar do gráfico permite a verificação da ocorrência, no aquífero, de três domínios de pH. Estes, oscilam entre o campo ácido (limite superior de uma faixa que vai do 1 ao 5,5) ao básico (limite inferior de uma faixa que vai do 8 ao 14).

É possível verificar também que o poço de controle (PM-11), o pH, a exceção do estudo de novembro/2010, tem apresentado valores próximos a neutralidade como pode ser visto no estudo de 2011 e 2012.

Os dados do oxigênio dissolvido são apresentados a seguir na **Tabela 7.4.1-2**.

Tabela 7.4.1-2 – Variação do oxigênio dissolvido OD no aquífero

Poço	OD (Nov/2010)	OD (Jan/2011)	OD (Abr/2012)	OD (Out/2012)
	(± 1 %) mg/L			
PM-01	1,15	5,31	0,00	0,00
PM-02	0,46	3,81	0,00	0,00
PM-03	2,64	3,51	0,00	0,00
PM-04	2,39	3,82	1,16	1,15
PM-05	1,52	3,76	0,00	0,30
PM-06	2,77	5,96	0,66	0,74
PM-07	1,17	3,49	1,10	1,03
PM-08	1,30	3,43	0,70	0,72
PM-09	3,11	4,61	2,82	4,99
PM-10	2,95	5,50	0,00	0,00
PM-11	1,55	3,86	0,14	0,36
PM-12	1,98	3,21	1,44	1,57

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

No aquífero, a concentração do oxigênio dissolvido apresenta-se bastante variável com concentrações que vão desde 0,00 mg/L a ocorrência de concentração de 6,00 mg/L.

No **Gráfico 7.4.1-2**, é possível visualizar a variação do parâmetro do aquífero em questão.

Gráfico 7.4.1-2 - Variação do oxigênio dissolvido OD no aquífero.

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

Outro importante parâmetro comumente medido em amostragem de águas subterrâneas é o potencial de oxi-redução (Eh). Em águas subterrâneas, alguns elementos podem ter sua solubilidade fortemente influenciada pelo seu estado de oxidação, representado pelo potencial entre um eletrodo de platina, por exemplo, e um eletrodo de referência como o hidrogênio no estado padrão. O Eh pode ser utilizado para se avaliar a disponibilidade de elétrons para reações de oxi-redução no meio aquoso (DREVER, 1997).

A seguir, são apresentadas na **Tabela 7.4.1-3**, os dados de variação do potencial de oxi-redução para o presente aquífero.

Tabela 7.4.1-3 – Variação do Eh no aquífero

Poço	Eh (Nov/2010)	Eh (Jan/2011)	Eh (Abr/2012)	Eh (Out/2012)
(± 1,0) mV				
PM-01	-71,6	166,8	-7,0	-11,1
PM-02	-26,5	48,1	2,3	10,6
PM-03	54,5	205,4	-64,1	-59,5
PM-04	142,5	202,9	-76,3	-86,2
PM-05	115,0	191,9	-54,0	-55,8
PM-06	168,2	212,8	-18,9	-35,1
PM-07	92,4	196,0	-58,7	-57,6
PM-08	153,2	122,9	-14,9	-17,5
PM-09	116,8	199,6	-16,4	-39,2
PM-10	140,0	224,1	6,5	3,6
PM-11	137,7	213,9	-78,5	-103,1
PM-12	83,3	217	-72,1	-85,6

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

A visualização da variação do potencial de oxi-redução no aquífero pode ser observada no **Gráfico 7.4.1-3**.

Gráfico 7.4.1-3 - Variação do Eh no aquífero

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

A partir da análise do gráfico, é possível distinguir dois campos principais de Eh. No primeiro tem-se um ambiente oxidante com valores positivos para o Eh, ocorridos nas campanhas de novembro de 2010 e janeiro de 2011.

A condutividade elétrica constitui-se de outro parâmetro obtido durante as amostragens. Indica a taxa de condução da eletricidade na água, parâmetro fundamentalmente dependente e proporcional à quantidade de sais dissolvidos no meio aquoso. Os dados são apresentados na **Tabela 7.4.1-4**.

Tabela 7.4.1-4 – Variação da condutividade elétrica no aquífero

Poço	CE (Nov/2010)	CE (Jan/2011)	CE (Abr/2012)	CE (Out/2012)
	(± 1) uS/cm			
PM-01	381	387	269	268
PM-02	261	317	162	163
PM-03	218	118	18	17
PM-04	68	20	26	25
PM-05	190	63	24	25
PM-06	256	48	169	171
PM-07	104	52	14	14
PM-08	87	122	111	114
PM-09	91	54	3	0
PM-10	262	316	234	2,37
PM-11	31	24	30	30
PM-12	60	19	10	11

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

Em seguida, no **Gráfico 7.4.1-4**, é apresentado a projeção gráfica dos respectivos dados, cujos valores foram plotados de forma a verificar as medições do parâmetro ao longo das amostragens de investigações realizadas na área.

Gráfico 7.4.1-4 - Variação da condutividade elétrica no aquífero

FONTE: (FIT, 2010, 2011a, 2012).

Conforme pode ser verificado no gráfico, em todas as campanhas de amostragem os poços PM-01, PM-02, PM-06 e PM-10 foram os poços cuja condutividade aponta para uma grande quantidade de sais dissolvidos. Representados no gráfico pelos três maiores picos. Ressalta-se ainda as condições de condutividade nos PM's- 09 e 10 que apresentam as maiores concentrações de chumbo registradas na área. Enquanto no PM-09, os valores apresentam-se baixos variando de 3 a 91 uS/cm no PM-10 os valores medidos variaram de 234 a 361 uS/cm.

Conforme os dados aqui apresentados, é possível enquadrar o aquífero local dentro de dois principais panoramas geoquímicos. No primeiro, levam-se em consideração os dados de Novembro de 2010 e Janeiro de 2011, nesse período é esperada maior disponibilidade de água para o aquífero local em função da maior precipitação, nessas condições, a água apresenta-se naturalmente com uma maior disponibilidade de íons H^+ conferindo a água um caráter mais ácido.

No entanto, o que se verifica é que a água apresentou valores de pH entre 7 a 9 (Neutro a Básico) e valores de potencial de oxi-redução positivos. Nesse contexto geoquímico foram encontradas as maiores concentrações.

No segundo panorama, o contexto se inverte, no período de Abril e Outubro de 2012 onde, teoricamente, se esperaria uma menor disponibilidade de íons H^+ no aquífero, em função da menor disponibilidade de água para o aquífero o pH apresentou valores entre 5 e 7 e valores de potencial de oxi-redução negativos.

7.4.2 CONDIÇÃO AQUÍFERA DO TERRENO ABANDONADO

Embora a malha de poços no terreno seja inferior à área de estudo em questão, os poços encontrados foram igualmente amostrados e medidos quanto aos parâmetros físico-químicos. Os resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos são apresentados na **Tabela 7.4.2-1**.

Tabela 7.4.2-1 - Parâmetros físico-químicos do terreno abandonado

Poço	N.A. (m)	pH	T °C	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Eh (mV)
PT-01	11,76	4,6	20,36	50	0,00	-7,0
PT-02	9,04	5,6	19,39	69	3,70	2,3

Conforme é apresentado na tabela acima, as condições aquíferas apresentadas pelos poços de monitoramento instalados no terreno, mostram que o pH apresenta-se dentro do campo ácido, com baixa concentração de oxigênio dissolvido. Em relação ao potencial de oxi-redução (Eh), o PT-01 apresentou comportamento propício a redução em relação PT-02, oxidante.

De forma a complementar os estudos apresentados até o presente, frente aos objetivos dessa dissertação, foi realizado a amostragem para os poços cujas concentrações foram historicamente reportados com valores acima das normas vigentes para o chumbo. Os poços PT-01 e PT-02 foram amostrados em virtude de

sua localização e situação de potencial comprometimento da qualidade das águas subterrâneas. Dessa forma, é apresentado o quadro abaixo onde são apresentados os resultados da amostragem.

Segundo os resultados apresentados, é verificada uma grande quantidade de elementos químicos reportados com concentrações abaixo dos respectivos limites de quantificação do método analítico. No geral, os resultados que foram quantificados, apresentam-se com baixas concentrações. Dentre os constituintes iônicos principais podem-se destacar os seguintes cátions: Ca, Fe, K, Mg e Na e quanto aos ânions têm-se os íons: HCO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- .

O chumbo, não se apresentou em concentrações indicativas que a área encontra-se contaminada, ao menos em relação aos valores orientadores da CETESB (2005). Esse fato não indica que futuramente não vão ocorrer novas ocorrências de chumbo com concentrações anômalas nessa área.

Quadro 7.4.2-1 – Resultados da amostragem de águas subterrâneas para os poços historicamente contaminados (PM's) e os do terreno ao lado da área.

Parâmetros	PM-05	PM-06	PM-07	PM-09	PM-010	PM-11	PM12	PT-01	PT-02	Valores Orientadores
	Poços amostrados em 2012							Poços amostrados em 2013		
(mg/L)										
Carbonato	< 3,60	< 3,60	< 3,60	< 3,60	< 3,60	< 3,60	< 3,60	< 5	< 5,0	-
Bicarbonato	< 3,66	< 3,66	< 3,66	< 3,66	< 3,66	< 3,66	< 3,66	6,0	13,0	-
(mg/L)										
Sílica Total	26,8	24,5	28,9	31,2	24,1	29,2	33,9	8,8	11,6	-
Nitrato como N	0,4	4,0	0,2	1,2	2,3	0,2	0,1	< 0,006	< 0,006	(10) ¹
Nitrito como N	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,1	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	-
Sulfato	< 5,00	24,5	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,0	< 5,0	-
Sulfito	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	-
Cloreto	< 4,0	13,0	< 4,0	< 4,0	5,7	< 4,0	< 4,0	9,0	6,0	-
(mg/L)										
Alumínio (Al)	< 0,050	0,20	< 0,050	< 0,050	1,00	< 0,050	< 0,050	0,10	0,20	-
Bário (Ba)	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,10	< 0,050	< 0,050	< 0,010	< 0,010	(0,7) ¹
Cálcio (Ca)	0,50	5,40	0,40	0,30	1,70	0,30	< 0,200	3,20	< 0,50	-
Ferro (Fe)	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,10	0,10	(3) ¹
Potássio (K)	< 0,200	0,80	< 0,200	0,20	0,50	< 0,200	< 0,200	< 0,50	< 0,50	-
Magnésio (Mg)	< 0,200	1,40	< 0,200	< 0,200	0,60	< 0,200	< 0,200	0,90	0,80	-
Manganês (Mn)	< 0,010	0,10	< 0,010	< 0,010	0,30	0,10	< 0,010	< 0,010	< 0,010	(4) ¹
Sódio (Na)	1,80	8,30	1,30	2,00	7,60	1,60	0,40	< 0,010	< 0,010	-
Níquel (Ni)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	(0,02) ¹
Chumbo (Pb)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	(0,01) ¹
Estrôncio (Sr)	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,010	< 0,010	-
Zinco (Zn)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	(5) ¹
(mg/L)										
Sólidos Totais Dissolvidos	0,2	0,6	35,0	37,0	71,0	44,0	26,0	24,0	24,0	-

(< xxxx) Valores reportados abaixo do limite de quantificação do método

(1) Valor orientador de intervenção para águas subterrâneas – (CETESB, 2005)

8. DISCUSSÃO

A área de estudo localizada no município de Taboão da Serra foi alvo de estudos ambientais segundo as normas vigentes preconizadas pela CETESB, órgão Ambiental do Estado de São Paulo. Durante os estudos realizados entre os anos de 2008 a 2012, nas águas subterrâneas locais o chumbo frequentemente apresentava-se em concentrações superiores ao valor orientador máximo permitido para residentes de 10 µg/L (CETESB, 2005). Sob o ponto de vista hidrogeológico a qualidade ambiental das águas subterrâneas constitui de tal importância se comparada aos seus aspectos quantitativos (SANTOS, 2000).

No entanto, aspectos fundamentais relativos aos dados de ordem física e físico-químicas como a geologia local, o fluxo subterrâneo, o pH, condutividade elétrica por exemplo, são elementos essenciais ao entendimento da dinâmica existente entre a água percolante e seus principais constituintes. A partir desses pressupostos básicos são apresentadas as discussões frente aos resultados apresentados, tanto em questão das análises efetuadas como complementação aos dados disponibilizados, quanto a análise das ações frente ao problema exposto.

8.1 Caracterização Geológica e Aquífera Local

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (2001), os solos apresentam características singulares quando comparados aos outros elementos que integram a biosfera, pois funcionam como um sistema drenante para a contaminação e funcionam como controladores do transporte de elementos químicos principalmente para a hidrosfera.

Para Araújo (2010), Taboão da Serra está, sob ponto de vista geológico, no contexto das rochas cristalinas do bordam a Bacia Sedimentar de São Paulo, o que ficou constatado pelas sondagens realizadas na área. A sondagem para complementação das investigações de reconhecimento geológico e coleta de

solo, atravessou uma primeira camada composta de aterro até cerca de 80 centímetros e uma camada sotoposta composta de solo silto argilo-arenoso, mole a média, segundo a designação NBR 6484 do índice de resistência.

A análise do solo nessa sondagem apresentou uma composição química, segundo a (FRX) realizada, composta por, predominantemente, três compostos: óxidos de silício, alumínio e ferro. Os outros componentes em óxidos exibiram valores percentualmente inferiores.

Os elementos traços obtidos, segundo a mesma metodologia de análise, apontam a ocorrência de diversos metais de importância para o contexto geológico local. Para Guilherme *et al.* (2005), os elementos traços estão presentes em solos e águas subterrâneas independentes de interferência antrópica no meio. Deve-se, no entanto, atentar que o aumento da concentração pode assim ocorrer, tanto por processos naturais quanto por influência da intervenção humana. Dados das análises de traços para o solo verificou a ocorrência de chumbo em todo o perfil (SL-01 a SL-02). Outros metais igualmente importantes sob o ponto de vista ambiental como Cromo, Manganês, Níquel, Vanádio e Zinco foram observados. Cabe ressaltar que esses compostos, a exceção do chumbo nunca apresentaram concentrações significativas na água subterrânea local. Não se tem, segundo análise dos estudos anteriores, indícios que esses elementos constituíram as águas subterrâneas tal como o chumbo no meio aquoso local.

Em relação à análise química por difração de raio x (DRX), as fases cristalinas identificadas foram as correspondentes ao quartzo, a caulinita, a muscovita, a hematita e anatásio, este último, tendo sido constatado como uma provável presença.

As condições aquíferas locais, estabelecidas segundo a integração dos dados obtidos da consultoria, ficam claro que, primeiramente, o aquífero local comporta-se como sendo do tipo poroso, onde segundo Cabral (2000), a recarga é assegurada pela infiltração de águas da chuva. A área apresenta um gradiente hidráulico de quase 10%, o que em termos da velocidade das águas subterrâneas repercute em um fluxo de Darcy para a área de 1,00m/ano.

Segundo Boscov (2008), em termos do transporte de poluentes em solos, o gradiente hidráulico pode ser responsável pelo processo segundo o qual o soluto é carregado pela água em movimento, processo também conhecido por advecção (FILHO, 2000).

Quimicamente e, expressos pelos dados dos parâmetros físico-químicos, o pH verificado para a área apresenta valores entre 5,43 a 9,7. Segundo Katz *et al.* (1999), a diminuição da solubilidade do chumbo em meio aquoso, está relacionada ao aumento de pH no meio. Segundo Junior, Molin e Przepiora (2008), valores baixos de pH indicando um ambiente ácido, baixas condições de potencial redox, favorecem a imobilidade do íon chumbo. A análise das concentrações históricas do íon chumbo no meio aquoso em relação ao diagrama de especiação proposto por Bradl (2005), sugere que as formas mais estáveis do chumbo na faixa de pH apresentada anteriormente corresponde, em porcentagem, as espécies: Pb^{2+} e $\text{Pb}(\text{OH})_2$, ambas com pouco menos de (20%) e $\text{Pb}(\text{OH})^+$ em torno de 30%. No diagrama Pb-S-C-O-H, proposto pelo mesmo autor, aparece o PbCO_3 . Essas espécies podem ser visualizadas em termos de suas concentração no meio aquoso em relação ao pH na figura abaixo.

Figura 8.1-1 – Diagrama da concentração de chumbo em função do pH da solução

FONTE: (STUMM; MORGAM, 1995).

Cabe ressaltar que o panorama geoquímico apresentado nas duas situações apontadas anteriormente não são compatíveis com a solubilização do chumbo para o aquífero, não permitindo assim, associação com as concentrações encontradas. Sugere-se que outros fatores não estudados pelo presente estudo devem ser melhor verificados dados como: análises dos tambores e recipientes de tintas do terreno ao lado, quantificação da contaminação e sua extensão, podem contribuir para o entendimento das anomalias observadas na área.

Dados complementares sobre o terreno ao lado da área de estudo poderiam ser mais completos se uma parte daquele material disposto de forma inadequada fosse analisado (Resíduos líquidos, Resíduos sólidos) o que todavia não pôde ser realizado por uma questão de recursos financeiros para as realização das análises.

8.2 Análise Crítica das Ações Empresariais

Situações em que a população é exposta ao risco de contaminação, são particularmente frequentes no Brasil, problemas de questão ambiental quer seja o ar, o solo ou águas subterrâneas constituem elementos do cotidiano da população de forma geral. O processo de avaliação de um determinado risco sugere uma boa avaliação. Segundo Reen (2008), o processo de avaliação pode ser composto por dois estágios, no primeiro, cientistas naturais e técnicos fazem uso da metodologia técnica para produzir estimativas físicas e ou físico-químicas de forma a compreender o sistema em risco, no segundo, de vertente mais social, trabalha-se em sociedade com vistas ao gerenciamento do risco bem como sua relação com a sociedade.

O gerenciamento de áreas contaminadas, preconizados pela CETESB, é um processo que busca avaliar a contaminação ambiental buscando o entendimento dos contaminantes frente a vários aspectos como o uso e

ocupação, a identificação de áreas potenciais de contaminação, a geologia local, a hidrogeologia, entre outros.

No caso da contaminação ora apresentada, os estudos realizados de forma a se determinar a fonte e/ou origem do chumbo no meio aquoso constituiu de uma série de etapas e complementações que isoladamente, pouco ou quase nada diz sobre o comportamento do íon em meio aquoso. Parte disso traduz o que acontece em consultorias cujo problema ambiental é a determinação da fonte do chumbo ou mesmo sua delimitação espacial no aquífero. Conforme apresentado durante o desenvolvimento da presente dissertação, para se conhecer ou determinar a composição química das águas nos aquíferos é necessário conhecer a solubilidade bem como as condições de mobilidade dos elementos (HYPOLITO, 2011).

A determinação dos componentes das águas subterrâneas, segundo a adoção da SQI – Substância Química de Interesse, logo após a detecção deste no aquífero restringe o estudo da contaminação a um único composto e como o chumbo pode apresentar sua mobilidade em função da interação com a matriz do solo, pH e a competição com outros metais inclusive, o conhecimento destes fatores torna o seu levantamento necessário a investigação ambiental.

Outro fator que merece ser analisado consiste no fato de alguns parâmetros serem determinados em um único ponto, como são os dados geotécnicos (densidade aparente, porosidade efetiva, porosidade total, carbono orgânico total e umidade do solo). O problema reside no fato de esses dados não representar a área como um todo, o carbono orgânico total (COT), por exemplo, é um parâmetro importante por fornecer informações quanto a complexação do chumbo em subsuperfície. No dado apresentado de COT de 1%, a quantidade de carbono orgânico parece pequena, o que pode sugerir que o chumbo presente no solo possa estar complexado na fração argilosa como indica os dados bibliográficos.

Cabe ressaltar que também o órgão ambiental, por meio de seus procedimentos técnicos, devem também ser revistos, as técnicas de

investigação devem acompanhar a complexidade dos problemas ambientais na medida em que estes problemas se tornam cada vez mais complexos.

Atualmente a Associação Brasileira de Normas Técnica – ABNT publicou uma norma que estabelece o conteúdo ou estudos a serem realizados com vista a determinação do modelo conceitual da área. Segundo a norma, no estabelecimento do meio físico, deve-se proceder com a realização ou estabelecimento de estudos sobre a geoquímica local bem como outras características relevantes para o estudo (ABNT, 2013).

Dessa forma, ações empresariais com vistas à solução de problemas ambientais, como o tratado por esta dissertação, devem ser realizadas de forma a estabelecer as condições químicas do solo e as condições, sobre tudo, químicas da água. Uma vez que esses levantamentos possam ser demorados, sob o ponto de vista comercial, sugere-se ainda, que os dados possam, na medida do possível, ser suficientes a uma tomada de decisão embasada segundo critérios científicos consistentes e não meramente apenas fruto de suposições técnicas.

9. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados na presente dissertação chegam-se as seguintes conclusões:

- A análise das concentrações históricas do íon chumbo no meio aquoso, sugere que as formas mais estáveis do chumbo na faixa de pH encontrada (6 e 9) corresponde, em porcentagem, as espécies: Pb^{2+} e $\text{Pb}(\text{OH})_2$, ambas com pouco menos de (20%) e $\text{Pb}(\text{OH})^+$ em torno de 30%. No diagrama Pb-S-C-O-H, aparece o PbCO_3 ;
- A fração argilosa em minerais como a caulinita, muscovita e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio presentes no solo segundo os resultados obtidos por Difração de Raio X podem constituir as unidades mineralógicas associadas ao chumbo, por conta do baixo carbono orgânico total COT em torno de 1%;
- Quanto a hidrogeologia, localmente as características do solo repercute as características de má formação aquífera, rasa a intermediária com pH variando entre ácido a básico, sendo a relativa acidez encontrada em alguns poços ser promovida pela água meteórica;
- Os mecanismos de solubilização do chumbo para a água subterrânea local da área não pôde ser completamente compreendido em função de uma quantidade de dados necessários, tanto sob o ponto de vista dos dados disponibilizados, quanto da limitação dos dados complementares obtidos. Os panoramas geoquímicos encontrados embora não compatíveis com solubilização do chumbo para o meio aquoso traz informações relevantes sob o ponto de vista da dinâmica encontrada na área bem como da necessidade de melhor defini-la.

Dessa forma verifica-se que a avaliação da contaminação por chumbo na área em questão pode estar relacionada com sua interação química com outros compostos no sistema aquífero e que não foram, mas que merecem uma melhor avaliação.

10.RECOMENDAÇÕES

A partir do exposto, recomenda-se, a título de possíveis avaliações ambientais com vista à solução de problemas de contaminação do meio aquoso por chumbo, que as empresas de gerenciamento ambiental possam integrar em suas ações metodológicas de diagnóstico do meio físico, um levantamento mais amplo da investigação. Que realizem estudos voltados a uma análise geoquímica da área, analisando-se a matriz do solo quanto a seus principais constituintes minerais bem como suas condições de solubilidade, análises mais completas de águas subterrâneas como, por exemplo, avaliação dos cátions e ânions determinação de índices de especiação e saturação dos minerais presentes na água. Atualmente existem programas robustos e alguns gratuitos como o PHREEQC, que até a data de entrega da presente dissertação é encontrado no site http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/, do serviço geológico americano.

A integração desses dados, aos comumente obtidos nos estudos de consultoria contribuiria em informações mais precisas na determinação da dinâmica do chumbo em meio aquoso.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, v.23, 1956.

AB'SABER, A.N.; BERNARDES N. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. In: Congresso Internacional de Geografia, XVIII, Rio de Janeiro. Guia de Excursões (4). Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Geografia, 1958. 304 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 07181**. Solo. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**. Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**. Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**. Procedimentos para Obtenção de Extrato Lixiviado de resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**. Procedimentos para Obtenção de Extrato Solubilizado de resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-1**. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-2**. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16210**. Modelo Conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE; SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA - SBG. **Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo, Encontro temático, 1992. 290p.

ALBAREDE, F. **Geoquímica uma introdução**. São Paulo: oficina de textos – Tradução Fábio R. Dias, São Paulo. 2011.

ALLEONI, L.R.F. et al. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, p.729-737, 2005.

ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils**. Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.

ALPHA. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th. Edition, 2005.

ALVAREZ, V. V.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 297-310, 2003.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B. et al. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **R. Bras. Ci. Solo**, v.16, p.271-276, 1992.

ALMEIDA, F.F.M. Os Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Bol.Inst.Geogr.Geol**, v.41, p.169-263, 1964.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. – The upper Precambrian of South America. **Bol. Inst. Geoc, USP**, v.7, p.45-80, 1976.

APPEL, C. et al. Sequential sorption of lead and cadmium in three tropical soils. **Environmental Pollution**, v.155, p.132-140, 2008.

ARAÚJO, W.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. do. Influência das propriedades físicas e químicas de solos intemperizados na adsorção de chumbo, cobre e zinco. **Floresta e Ambiente**, v.7, p.167-180, 2000.

ARAÚJO, W.T. **Evolução Urbana e Dinâmica da Paisagem em Setores Periféricos da Metrópole Paulistana: O Caso de Taboão da Serra-SP**, 2010. 231 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas FFLCH, Universidade de São Paulo USP, São Paulo, 2010.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for lead. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service**, Atlanta. 1999.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services**, 2007. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-13.pdf>. Acessado em: junho de 2012.

AYOADE, J.O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. 5ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 332p.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2011. 844p.

BOSCOV, G. E. M. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248p.

BOUCINHAS, A. **Superando Antagonismo entre Natureza e Cidade: Desenho Participativo em Taboão da Serra**. FAU-USP. São Paulo/SP. 2006.

BOUWER, H.; RICE, R.C.. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. **Water Resources Research**, v.12, n.3, p.423-428. 1976.

BRADL, H. B. **Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation**. 2005. 282p.

BRINATTI, M. A. **Uso de Espectroscopias e Difração de Raio X Aplicada à Caracterização Mineralógica de Solos**. 2001. 192f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2001.

BULLEN, T.D.; KENDALL, C. **Tracing of weathering reactions and water flowpaths: A multi-isotope approach**. In: Kendall, C.; McDonnell, J.J. (Eds.) *Isotope tracers in catch hydrology*, Elsevier Science B.V. Amsterdam. 1998. 839 p.

CABRAL, J. **Movimento das águas subterrâneas**. In: FEITOSA, F. A. C. (coord) e FILHO, M. J. (coord) **HIDROGEOLOGIA: Conceitos e Aplicações**. 2ª Ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. cap.3: p. 35-51.

CAMARGO, O.A. de. et al. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Ed.rev.atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77p.

CARNEIRO, A. E. V.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Análise quantitativa de amostras geológicas utilizando a técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia. **Scientia Agricola**, v.53, n.1, p.95-105, 1996.

CARVALHO, F. M. et al. Chumbo no sangue de crianças e passivo ambiental de uma fundição de chumbo no Brasil. **Rev. Panam. Salud. Publica/Public Health**. v.13, n.1, 2003.

CEPAGRI – CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA – **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_591.html. Acessado em março de 2013.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia de Coleta e preservação de amostras de água**/ Coord. AGUDO, E. J. et al. – São Paulo: CETESB, 1988.150 p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, Projeto CETESB – GTZ, cap. 6400 Amostragem e Monitoramento de Águas Subterrâneas, 2001. 36p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia para avaliação do potencial de contaminação em imóveis** / coord. PIRES, M. C. São Paulo: CETESB: GTZ, 2003. 80p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas: Investigação detalhada**. CETESB, GTZ, 2ªed. São Paulo, Brasil. 2004.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO — **Valores Orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. Anexo Único - Decisão da Diretoria no. 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. CETESB/SMA, São Paulo, Brasil, 2005. 4p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – **Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E**. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. 2007. 40p.

CESTESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE CHUMBO NA ATMOSFERA DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**. Departamento de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar – Setor de Amostragem e Análise do Ar. São Paulo, Brasil, 2009. 9p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relação de áreas contaminadas do Estado de São Paulo** – Diretoria de Controle de Poluição Ambiental. São Paulo. 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacoes-de-areas-contaminadas/15-publicacoes>>. Acessado em: 24 de setembro de 2013.

CHANEY, R.L. Sludge utilization, land application and food chain impact. In: The biocycle to the art and science of composting. **Pennsylvania, G.J.** Press. p.240-253. 1991.

CLEARY, W.R. **Águas Subterrâneas**. Princeton Groundwater, inc. 1989. 112p.

CORDANI, G.U; TAIOLI, F. **A Terra, A Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável**. In: TEIXEIRA, W. et al. Decifrando a Terra. 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Reimpressão 2001. cap. 24, p.518-528.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GIN, M. F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 22, p. 547-553, 1998.

DEFFONTAINES, P. Regiões e Paisagens do Estado e São Paulo; primeiro esboço de divisão regional. **Geografia**. v.1, n.2, p.117-169. 1935.

DEUTSCH, W. **Groundwater Geochemistry**, ed. Lewis Publishers. 1997. 217p.

DREVER, J. **The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments**, ed. Prentice Hall.1997. 436p.

FERNANDES, F.N; ALMEIDA, H.C.J. **Processos Endogenéticos na Formação do Revelo**. In: CUNHA, B.S; GUERRA, T. J.A. Orgs. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap. 2, p.57-101.

FIGUEIREDO, A. M. G. et al. Determination of trace elements in *Tillandsia usneoides* by neutron activation analysis for environmental biomonitoring. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. v. 249, n. 2, p. 391-5, 2001.

FIGUEIREDO, A. M. G. et al. The use of *Tillandsia usneoides* L. as bioindicator of air pollution in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 259, n.1, p. 59-63, 2004.

FILHO, M. J. **Contaminação das águas subterrâneas**. In: FEITOSA, F. A. C. (coord) e FILHO, M. J. (coord) **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª Ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. cap.6, p. 109-130.

FIT. Residencial Empreendimentos Imobiliários Ltda. **Relatório Técnico Campanha de Monitoramento 1502/RT/P-1004.62.MO-09**. 2009a.

FIT. Residencial Empreendimentos Imobiliários Ltda. **Relatório Técnico Investigação Ambiental Detalhada e Análise De Risco à Saúde Humana 1634/RT/P-1004.63.DR-09**. 2009b.

FIT. Residencial Empreendimentos Imobiliários Ltda. **Relatório Técnico Avaliação Preliminar, Investigação Ambiental Confirmatória e Detalhada, Análise de Risco e Projeto Executivo de Intervenção 2139/RT/P-1004.62.APICID-10**. 2010.

FIT. Residencial Empreendimentos Imobiliários Ltda. **Relatório Técnico Avaliação Ambiental Preliminar, Investigação Ambiental Confirmatória, Investigação Ambiental Detalhada, Análise de Risco e Plano de Intervenção 2180/RT/P-1004.65.CO-10**. 2011a.

FIT. Residencial Empreendimentos Imobiliários Ltda. **Relatório Técnico Monitoramento Hidrogeológico para Encerramento, Segunda Campanha 2461/RT/P-1004.79.MO-11**. 2011b.

FIT. Residencial Empreendimentos Imobiliários Ltda. **Relatório Técnico Monitoramento Hidrogeológico para Encerramento, Terceira Campanha 2675/RT/P-1004.85.MO-12**. 2012.

FORNARO, A. **Chuva Ácida em São Paulo: Caracterização Química de Amostras Integradas e Sequenciais de Deposição Úmida**. 1991. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

FORNARO, A.; GUTZ, I.G.R. Wet Deposition and Related Atmospheric Chemistry in the São Paulo Metropolis, Brasil: part 2, contribution of formic and Acetic Acids. **Atmospheric Environment**. v.37, p. 117-28, 2003.

FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. **Revista USP**, v. 70, p. 78-87, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Washington: Banco Mundial. 2006. 104p.

Gioia, S. M. C. L.; Marly, B. ; Kerr, A. F. S.; VERISSIMO, T. G. **Lead isotopic composition as atmospheric pollutant tracer in an urban system: São Paulo city - Brazil**. In: International Geological Congress (33.: 2008 : Oslo); 2008, Oslo. 33rd International Geological Congress, 2008, Oslo, Norway. Abstracts - EGC-07 Frontiers of stable isotope analysis for environmental science and biogeochemistry, 2008.

GUILHERME, L.R.G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.4. p.345-390, 2005.

HANN, F. A. M. de; ZWERMANN, P. J.; **Pollution of Soils**. In: Bolt, G. H.; Bruggenwert, M. G. M.; Soil Chemistry, A. Basics Elements. Developments in Soil Science 5^a. Elsevier Scientific Publishing Company, p.192-271, 1978.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Fold Belt. **Rev. Bras. Geoc.**, v.5, n.4, p.257-266, 1975.

HUBBERT, M. K. The Theory of ground water motion. **Journal of Geology**. v.98, p. 785-944, 1990.

HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; EZAKI, S. **Geoquímica da Interação – Água/Rocha/Solo Estudos Preliminares**. Ed. All Print. São Paulo. p.454. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000**. v.1, 1981a, 103p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, v.1 São Paulo, 1981b, 88p.

JANASI, Y.A; ULBRICH, H.H.G.J. Late Proterozoic granitoid magmatism in the state of São Paulo, Southeastern Brazil. **Precambrian Research**, v.51, n.1-4, p.351-374, 1991.

JENKINS, R. **X-Ray: fluorescence spectrometry**. 2. Ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1999, 207p.

JORDÃO, C.P. et al. Adsorção de íons Cu²⁺ em Latossolo Vermelho-Amarelo húmico. **Química Nova**, v.23, p.5-11, 2000.

JULIANI, C. **Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos Serra do Itaberaba , São Roque e da Pedra Grande, NE da cidade de São Paulo, SP**. 1993. 803f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

JUNIOR, E. P.; MOLIN, J.; PRZEPIORA, A. Ensaio-piloto. Injeção de EHC-M para remediação de chumbo em água subterrânea. Estudo de caso – Fábrica de baterias – São Paulo. **Revista Meio Ambiente Industrial** n.67. julho/agosto de 2008.

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC. 1992. 365p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KATZ, B. G. et al. **Factors Controlling Elevated Lead Concentrations in Water Samples from Aquifer Systems in Florida**. U.S. Geological Survey – Water Resources Investigations Report 99-4020, 1999.

KLEIN, C; HURLBUT JR, C. S. **Manual of Mineralogy**. 21 ed. Rev. / after James D. Dana. JOHN WILEY & SONS, INC. 681p. 1999.

LA FRANIERE, Sharon. Contaminação por chumbo revolta chineses. The New York Times. In: Estadão.com.br, 16 jun. 2011. World Report 2012: China. 18, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,contaminacao-por-chumbo-revolta-chineses,732930,0.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2012.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. 20 p. Rio Claro: UNESP. 2000. Disponível no formato PDF (Adobe Acrobat®) em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acessado em 04 Junho. 2013.

LEAL, T.F.M.; FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J. Composição iônica Majoritária de Águas de Chuva na Região Central de São Paulo, **Química Nova**, v. 27, n. 6, p.855-61. 2004.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2^a ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 215p.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B ; LUCHESE, E. B. **INTRODUÇÃO À QUÍMICA DA ÁGUA - Ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora SA, v.1, 2009. 604p.

LINHARES, L.A. et al. Adsorção de Cádmio e Chumbo em Solo tropicais altamente intemperizados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.44, n.3, p.291-299, 2009.

LOPES, Jr. I. **Atlas geoquímico do Vale do Ribeira: geoquímica dos sedimentos ativos de corrente**. São Paulo. CPRM 77. 2005.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo. Produquímica. 1994.153p.

MARÇAL, W. S. et al. Valores de chumbo inorgânico em suplementos minerais para bovinos comercializados no Estado de Goiás. **Arq. Inst. Biol**, v. 71, n.1, p.31-34. 2004.

MARTINELLI, M. Clima do Estado de São Paulo. posto online em 14 Março 2010, Disponível em: <http://confins.revues.org/6348>. Acessado em: 17 Fevereiro 2012.

MARTINS, A.P. **Cascas de árvores como biomonitores da poluição atmosférica de origem veicular em parques urbanos da cidade de São Paulo**. 2009. 91f. Tese (Doutorado em Medicina) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARTINS, V.T.S. **Aplicação de isótopos de Pb, Sr, H, O como traçadores da recarga e da contaminação de aquíferos metropolitanos: um exemplo da Bacia do Alto Tietê**. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MASSAD, F. **Obras de terra – Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo, Oficina de Textos, 2003. 170p.

MATOS, A. T. et al. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho – Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 379 – 386, 1996.

MAYNARD, E. et al. An evaluation of recent blood lead levels in Port Pirie South Australia. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 303, n. 1-2, p. 25-33. 2003.

MELFI, J. A.; PEDRO, G. ESTUDO GEOQUÍMICO DOS SOLOS E FORMAÇÕES SUPERFICIAIS DO BRASIL – Parte 1 – Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, p. 271-286, 1977.

MELFI, J. A.; PEDRO, G. ESTUDO GEOQUÍMICO DOS SOLOS E FORMAÇÕES SUPERFICIAIS DO BRASIL – Parte 2 – Considerações sobre os mecanismos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.8, p. 11-22, 1978.

MELFI, J. A.; OLIVEIRA, de B. M. S.; TOLEDO, M. C. M. **Intemperismo e Formação do Solo**. In: TEIXEIRA et al. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, cap.8. p. 140 -165. 2001.

MERKEL, B. J; PLANER- FRIEDRICH, B. **Geoquímica de Águas Subterrâneas: Um guia prático de modelagem de sistemas aquáticos naturais e contaminados**. Campinas, editora da Unicamp. 2012. 244p.

MIRANDA, J. M. et al. **Clima dos Municípios Paulistas: A Classificação de Koppen para o Estado de São Paulo**. 2012. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acessado em 20 Julho 2013.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Cinética e Saúde Coletiva**, v. 9, n.1, p. 167-181. 2004a.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J.C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rev. Panam. Salud. Publica**, v. 15, n. 2, p. 119-129. 2004b.

MSF - Médicos sem Fronteiras. Nigéria: intoxicação por chumbo coloca crianças em risco de vida. 2012. Disponível em: <<http://www.msf.org.br/noticias.aspx?n=1171>>. Acesso em: 03 nov. 2013.

NEDER, A.V. F.; COTTA, T. A. R.G. **Redução dos riscos de exposição ambiental e ocupacional ao chumbo**. Projeto MMA/OPAS. Relatório da 1ª etapa. Brasília, 1999.

NIELSEN, M. D. **Practical handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring**, 2nd edition. 2006.

NOGUEIRA, C.A. **Avaliação da Poluição Atmosférica por Metais na Região Metropolitana de São Paulo utilizando a Bromélia *Tillandsia usneoides* L. como Biomonitor**. 2006. 111f. Tese (Doutorado em Pesquisas Nucleares) - Instituto de Pesquisas Nucleares – IPEN, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.

PARKHURST D. L.; APPELO C.A. J - **User's Guide to PHREEQC (version2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations**. Denver, Colorado. (ed): 1999.

PEDRO, G. Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines (Thèse). **INRA Paris, Ann. Agron.** v.15, n.2, p. 85-191; n.3, p.243-333; n.4, p.339-456. 1964.

PEDRO, G. Essai sur la caracterisation géochimique des différents processus minéraux résultant de l'alteration des roches superficielles cycles aluminosiliciques. **CR. Acad. Sc. Paris**, 261. p. 1828-1831. 1966.

PIERANGELI, M.A.P. et al. Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.279-288, 2001.

PIERANGELI, M.A.P. et al. Efeito da força iônica de equilíbrio sobre a adsorção/dessorção de chumbo em Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, n. 8, p. 1077- 1084, 2007.

PULS, R. W.; BARCELONA M. J. **Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground Water-Water Sampling Procedures EPA/540/S-95/504**, 1996.

QUITÉRIO, S.L. et al. Avaliação da poluição ambiental causada por particulado de chumbo emitido por uma reformadora de baterias na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. **Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro**, v.22, n.9, p. 1817-1823, 2006.

ROLIM, S. G. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia** v.66, n.4, 2007.

RENN.O. **Risk governance: Coping with uncertainty in a complex World**. London: EarthsCan, 2008.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Brasil**. 1989. 256f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

RODRIGUEZ, S.K. **Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo**. 1998. 171f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C (coord) e FILHO, M. J. (coord) **HIDROGEOLOGIA: Conceitos e Aplicações**. 2ª ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, cap.5, p. 81-108. 2000.

SAVAZZI, E. A. **Determinação da Presença de Bário, Chumbo e Crômio em amostras de água subterrânea coletadas na Aquífero Bauru**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo. São Paulo/SP. 2011.

SHEPARD, F. P. Revised Nomenclature for Depositional Coastal Features. **Ameri. Ass. Pet. Geol. Bull.**, Tulsa. v.36, n.10, p.1902-1912, 1954.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. Ed. Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai em colaboração com as centrais elétricas de SP. (CESP). São Paulo. p 35-39, 1966.

SILVERMAN, J. O que acontece com a China e a intoxicação por chumbo? HowStuffWorks Brasil. Disponível em: <http://saude.hsw.uol.com.br/chumbo-toxico-china.htm>>. Acesso em: 05 dez. 2012.

SOARES FILHO, F. C. **Rochas Minerais e Pedras Preciosas do Brasil. Dicionário Analítico**. Ed. CPA-Consultoria de projetos e Artes Ltda. 2ª ed. 1990.

STUMM, W.; MORGAM, J. J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3.ed. New York, John Wiley & Sons. 1996. 1022p.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das Águas. **Boletim. IG-USP, Série. didática**. n.5, p.166, 1993.

TAVARES, T. M. **Avaliação de efeitos das emissões de Cádmio e Chumbo em Santo Amaro da Purificação – BA**. 1990. 271f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo. 1990.

TAVARES, R. **Clima, Tempo e Desastres**. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. DO. Orgs. **Desastres Naturais : Conhecer para Prevenir**. 1ªed. São Paulo: Instituto Geológico, cap. 8, p. 113- 146, 2009.

TOMITA, N. E.; PADULA, N. A. M. R; GEPICCB. Intoxicação por chumbo em crianças e o discurso da imprensa. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.10 (sup). p.111-119, 2005.

VEIGA, S. M. A. M. Coleta de amostras e métodos analíticos para determinação de chumbo. **Rev. Fac. Med. Ribeirão Preto**. v. 42, n. 3, p. 330-336, 2009.

USEPA – U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY REGION II. **Ground Water Sampling Procedure Low Stress (Low Flow) Purging And Sampling**. Revised: march,v.16. 1998. 11p.

USEPA – U.S. ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY REGION I. **Low Stress (low flow) Purging and Sampling Procedure for the Collection of Ground Water Samples from Monitoring Wells**. Revised: january, v.19. 2010. 30p.

WHO. **Inorganic Lead. Enviromental Health Criteria 165**. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization. Geneva.1995. 300p.

ANEXOS

**ANEXO I – RESUMO APROVADO 46º CONGRESSO BRASILEIRO DE
GEOLOGIA - 1º CONGRESSO DE GEOLOGIA DOS PAÍSES DE LINGUA
PORTUGUESA**

Geoquímica do Chumbo em Área Urbana – Seu impacto e solubilidade em meio aquoso

Thiago Henrique Dantas Pereira¹; Joel Barbujianni Sígolo¹

¹USP

RESUMO: Taboão da Serra – na Região Metropolitana de São Paulo possui histórico de ocorrências anômalas de chumbo na água subterrânea, frequentemente reportando concentrações acima dos valores orientadores da CETESB. No caso estudado não se determinou a origem da fonte de contaminação, bem como sua total delimitação, tanto superficial quanto em profundidade. O levantamento do uso e ocupação das atividades potencialmente contaminantes do entorno da área, tal como é preconizado pela CETESB, apontaram como prováveis fontes, uma fábrica de bicicletas e uma galvanoplastia. O trabalho aqui proposto objetiva-se a determinar quais seriam os fatores geoquímicos associados à ocorrência (geologia) e mobilidade (diagrama Eh x pH, CE, OD) do chumbo na área em estudo. Dados preliminares obtidos pelo ensaio NBR 10004:2004 demonstram que o solo apresenta chumbo em sua massa bruta da ordem de (58 mg/kg), produto lixiviado 0.07 mg/L e solubilizado < 0.01µg/L sendo segundo essa norma, caracterizado como não inerte IIA. A análise dos diagramas tem mostrado que as condições de acidez e potencial de oxi-redução se enquadram nas condições de solubilização do chumbo, em forma de íon Pb^{2+} (com pH mais ácido) e chumbo associado a uma hidroxila OH (campo do $PbOH^+$), precipitável. Os dados de solubilidade, principalmente, atestam a mobilidade do chumbo indicando que o mesmo é disponibilizado às águas subterrâneas através da constante lavagem desse pelas águas que por ali percolam. Na água subterrânea dados obtidos segundo a metodologia de análise de metais USEPA 6010C – Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP) e de amostragem por micro purga ou *low flow* foram reportadas concentrações em torno de (39 µg/L- PM-02 campo do $PbOH^+$), (20 µg/L – PM-04 campo do $PbOH^+$), (59 µg/L – PM-06 campo de pH ácido), (23 µg/L – PM-07 campo do $PbOH^+$) e (39 µg/L – PM-08 campo de pH ácido), todos acima do valor orientador CETESB (10 µg/L), para chumbo na água subterrânea. As sondagens para instalação dos poços e caracterização geológica da área apresentaram um latossolo vermelho-amarelo residual, predominantemente silto-argiloso originado da decomposição de rochas que compõem o Complexo Embu (granitos-gnaisses e migmatitos). Espera-se que a correlação dos dados hidroquímicos juntamente com os dados geoquímicos obtidos na área em questão permita um melhor entendimento das fontes e/ou processos de concentração natural do chumbo. Isso permitiria, respaldado em base científica, gerenciar essas áreas de forma mais eficiente e segura tornando a tomada de decisões quanto ao seu uso mais rápida e minimizando os custos de uma investigação cara e onerosa tanto para empresas de consultoria, órgão ambiental e construtoras interessadas nessas áreas.

PALAVRAS CHAVE: CHUMBO; SOLO; ÁGUA SUBTERRÂNEA.

CERTIFICADO

A SBG – Sociedade Brasileira de Geologia certifica que

THIAGO HENRIQUE DANTAS PEREIRA

apresentou o trabalho "GEOQUÍMICA DO CHUMBO EM ÁREA URBANA - SEU IMPACTO E SOLUBILIDADE EM MEIO AQUOSO", PAP010461, no Simpósio Temático Avaliação de impactos ambientais e recuperação de áreas degradadas do **46º Congresso Brasileiro de Geologia** e do **1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa**, realizados de 30 de setembro a 05 de outubro de 2012, em Santos - SP, de autoria de:

THIAGO HENRIQUE DANTAS PEREIRA; JOEL BARBUJANI SÍGOLO.

Santos, 05 de outubro de 2012

Fábio Braz Machado

Presidente da Comissão Organizadora
do 46º Congresso Brasileiro de Geologia

Iata Anderson de Souza

Presidente do Núcleo São Paulo da
Sociedade Brasileira de Geologia

**ANEXO II – RELATÓRIO DE SONDAGEM DE SIMPLES
RECONHECIMENTO SPT (NBR 6484/01)**

RELATÓRIO DE SONDAGENS

RUA ALBERTO JOSÉ, 450

JARDIM SALETE, TABOÃO DA SERRA/SP.

Relatório: SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT (NBR 6484/01)

Obra: PESQUISA

Local: RUA ALBERTO JOSÉ, 450 – JARDIM SALETE, TABOÃO DA SERRA/SP.

São Paulo, 11 de dezembro de 2013.

AO

SR. THIAGO HENRIQUE D. PEREIRA

Prezado Senhor,

Apresentamos os resultados da sondagem a percussão de simples reconhecimento do solo executada com tubo de revestimento de diâmetro Ø 2 ½" e medida de resistência a penetração (SPT) de metro em metro com auxílio de amostrador TERZAGHI diâmetro externo de Ø 2" e interno Ø 1 3/8".

O relatório com resultados é apresentado na forma de perfil geológico-geotécnico individual, indicando as características dos solos perfurados (profundidade, consistência e classificação das camadas, resistências a penetração, número de golpes SPT, interpretação geológica) em 01 ponto de sondagem, totalizando 7,45 m de perfuração.

Estamos ao inteiro dispor para dúvidas e esclarecimentos que se façam necessários.

Atenciosamente,

PROSPEC ENGENHARIA LTDA.

Análise Geológica – Geóloga Cinthia Midori Sales Nakamura
CREA-SP: 5063577751

Responsável Técnico – Geólogo André da Silva Salvaterra
CREA-SP: 5062057075

CONTRATANTE: THIAGO HENRIQUE D. PEREIRA

OBRA/SERVIÇO: PESQUISA

LOCAL: RUA ALBERTO JOSÉ, 450 - JARDIM SALETE, TABOÃO DA SERRA/SP.

DATA:	10/12/2013	ESCALA:	SEM ESCALA	FOLHA:	ÚNICA
UNIDADE:	M	FORMATO:	A4	DESENHISTA:	M.A.
RESPONSÁVEL TÉCNICO:				TRAB. Nº:	870-13

PLANTA DE LOCAÇÃO DAS SONDAGENS

SP-01
(99,85)

R.N.(100.00)
(no poste)

Rua Alberto José

LEGENDA:

- REFERÊNCIA DE NÍVEL
 SONDAGEM A PERCUSSÃO

NOTAS:

- 1 - NÚMERO E LOCAÇÃO DAS SONDAGENS DETERMINADAS PELO CLIENTE.
- 2 - COTA ALTIMÉTRICA DO RN, ARBITRÁRIA.
- 3 - CESSARÁ NOSSA RESPONSABILIDADE A PARTIR DO MOMENTO EM QUE ESTE RELATÓRIO FOR MODIFICADO EM SEU CONTEÚDO.

SONDAGEM A PERCUSSÃO NBR 6484/01

CONTRATANTE THIAGO HENRIQUE D. PEREIRA

OBRA/SERVIÇO PESQUISA

LOCAL RUA ALBERTO JOSÉ, 450 - JARDIM SALETE, TABOÃO DA SERRA/SP.

SONDAGEM SP.01 **COTA** 99,85 **DATA DE INÍCIO** 04/12/2013 **COORD. N**

TÉRMINO 04/12/2013 **E**

ESCALA 1 : 100

TRAB. N.º 870-13

DES. ALEFF

COTA (m)	PERFIL GEOLÓ- GICO	N.º DE GOLPES S. P. T.	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO										PROFUN. CAMADA (m)	INTER. GEOLÓ- GICA	CONSIS- TÊNCIA* OU COMPA- CIDADE**	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	N. A. (m)
			AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI														
			N.º DE GOLPES / 30 cm. 5 10 15 20 25 30 35														
94,85												0,80	AT	MUITO MOLE*	Argila silto-arenosa, com entulho de construção e detritos vegetais, variegada (marrom avermelhada)	6,51 04/12/2013	
		1 1 2	3														
		15 15 15															
		1 2 3	5											MOLE*			
		15 15 15															
		2 3 3	6														
		15 15 15															
		2 3 4	7											SAR			
		15 15 15															
		2 2 3	5											MOLE*			
15 15 15																	
2 3 3	6																
15 15 15																	
3 3 4	7										7,45						
15 15 15																	
	</																

Leitura	Data	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min.	NOTA :
INICIAL	04/12/2013	6,90	T. Cavadeira	0,00	7,00	Profun. de Início (m) : ---	Para melhor verificação do nível d'água, abrir poço de maior diâmetro na época da obra.
FINAL	04/12/2013	6,51	T. Espiral	---	---	Estagio 1 (cm) : ---	
			Lavagem	---	---	Estagio 2 (cm) : --- Estagio 3 (cm) : ---	

OBS. :

AT = ATERRO / SAR = SOLO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA

São Paulo, 11 de dezembro de 2013

Análise Geoiógica