

COMPROMETIMENTO DO MEIO SUBTERRÂNEO PELAS ATIVIDADES ORIUNDAS DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO DE TREMEMBÉ/SP

Moura, C.L.¹; Hypolito, R.²; Pugas, M.S.³; Ezaki, S.⁴; Nascimento, S.C.⁵, Garcia, M.A.A.⁶; Tanasov. V.S.⁷; Sotelo, A.F.⁸

Resumo

Neste trabalho foram avaliadas condições ambientais mais significativas de uma área e de seu entorno onde se encontram instalados três Aterros Sanitários, localizados no Município de Tremembé/SP. Foram estudados os principais agentes poluidores com especial atenção ao comportamento dos íons metálicos alumínio, ferro, manganês e chumbo, em amostras de diferentes compartimentos - solo, solo/sedimento e águas superficiais e subterrâneas. As águas subterrâneas associadas aos Aterros encontram-se comprometidas devido a altas concentrações dos íons estudados, cujo comportamento são, em alguns deles, regidos fundamentalmente pelos valores de pH e potencial oxido-redução. Este fato é motivo de grande preocupação, uma vez que na região a grande maioria da população faz uso de águas para consumo humano extraídas de poços do tipo cacimba. Os dados analíticos das águas superficiais do Rio Serragem e seu afluente que limitam a área de estudo, também apresentaram valores superiores aos permitidos pelos órgãos oficiais para os íons ferro, alumínio e manganês, sempre ligados aos Aterros. Comprovou-se que as características mineralógicas, granulométricas e capacidade de troca catiônica dos solos associados aos Aterros, não são adequadas para a retenção de íons metálicos. Por outro lado os dados de pH do solo (Δ pH) se mostram favoráveis aos fenômenos de adsorção iônica.

Palavras-chave: água subterrânea, aterro sanitário, metais pesados.

Keyword: groundwater, landfills, heavy metals.

Abstract

¹ Pesquisadora do Grupo de Estudos de Recuperação de Ambientes Degradados (GERAD) – Universidade do Grande ABC – Endereço Profissional: Av. Industrial, 3300- Bairro Campestre – Santo André SP CEP: 09080-511 – e-mail: claudiamoura@uniabc.br

² Professor do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

³ Pós-Graduanda do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

⁴ Pós-Graduanda do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

⁵ Bióloga

⁶ Pesquisadora do Grupo de Estudos de Recuperação de Ambientes Degradados (GERAD)

⁷ Pesquisadora do Grupo de Estudos de Recuperação de Ambientes Degradados (GERAD)

⁸ Pesquisadora do Grupo de Estudos de Recuperação de Ambientes Degradados (GERAD)

A major problem of big cities has been the disposal of solid wastes. In several situations, landfills are selected as solution of better feasibility for final placement of such material that, in most cases, are pollutants. Inadequate conditions of operation and conservation of those locations are giving rise to numerous damage to the environment, in particular, in the surroundings areas that often have residential clusters. In this work have been assessed the most significant environmental conditions in a particular area and its surroundings where were installed three landfills, located in the city of Tremembé / SP. Probably as a result of bad management and careless of these landfills, they have got many complaints, once is bringing on great damage to neighboring population. Were studied the main pollutants with special attention to the behavior of metal ions, aluminum, iron, manganese and lead on samples of different compartments - soil, sediment / soil, of surface water and groundwater. Groundwater associated with landfill are involved due to high concentrations of the studied ions, which behavior are, in some of them, essentially governed by the values of pH and oxide-reduction potential. This fact is a reason of great concern, since in the region the vast majority of the population makes use of water, extract from production well, for human consumption, beyond frog farm. The analytics data of the surface water of Serragem River and its stream limits the study field, also submitted values higher than those allowed by official bodies for ions iron, aluminum and manganese, always related to the landfills. It was proved that the mineral characteristics, size analysis and ability to cationic exchange from associated soils with landfills, are not suitable for the retention of metal ions. In the other hand, the data from pH soil (Δ pH) are favorable to the phenomena of Ionic adsorption strength.

1- Introdução

Na vida contemporânea o consumo espelhado na globalização de estilo de vida, caracterizado pela fixação de certos padrões sociais, tem sido um dos responsáveis pelo aumento exacerbado no padrão de produção e geração de resíduos (TRIGUEIRO, 2003 ^[1]).

Após a Revolução Industrial foi crescente o número de substâncias que surgiram acompanhando os desenvolvimentos econômicos, industriais e agrícolas de cada país (ARCURI & FERNICOLA, 2003 ^[2]) e conseqüentemente o surgimento dos maiores passivos ambientais. Somente nos Estados Unidos a Environmental Protection Agency já havia listado, até o final de 1995, 40 mil locais de destinação final de resíduos perigosos, sendo que em 75% desses locais foram encontrados metais pesados.

No Brasil, em 2004, estima-se geração de aproximadamente 163.000 t/dia de resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2004 ^[3]) sendo 26 milhões de t/ano industriais. Somente no Estado de São Paulo, 2% são referentes a resíduos perigosos (CETESB, 1996 ^[4]). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2004 ^[3]), estima-se que quase 8.000 locais de disposição inadequada estão contaminando o solo e o lençol freático. Atualmente no Brasil, é gerado cerca de 163.000 toneladas de lixo urbano (ABRELPE, 2004 ^[3]) sendo apenas 40% destinados a aterros e do total dos resíduos industriais, apenas 30% possuem destinação adequada.

Uma pesquisa revelou que 73% dos municípios brasileiros com mais de 50 mil habitantes e em 70% daqueles com menos de 50 mil habitantes ainda usufruem a utilização de lixões. A situação se agrava quando levam em consideração os dados fornecidos pelo IBGE (2002), onde 20% dos domicílios brasileiros ainda não possuem coleta de resíduos.

Estudos mais recentes realizados pelo CEMPRE (Ciclossoft, 2008 ^[5]) demonstram que no Brasil o número de municípios atendidos com a coleta seletiva cresceu de 81 em 1994 para 405 em 2008; apesar do significativo crescimento esses valores correspondem apenas à 7% de todo o território brasileiro. Atualmente, os municípios que mais contribuem para a coleta seletiva são Santo André, Santos, São Bernardo e São José dos Campos.

Em relação aos resíduos industriais, a Associação de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE, 2004 ^[3]), aponta mais de 70% de disposição inadequada.

A grande variedade de resíduos sólidos e semi-sólidos aliada à presença de substâncias potencialmente tóxicas requer exaustivos esforços no sentido de buscar soluções apropriadas para que não causem prejuízo à saúde pública e ao meio ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2003 ^[6]). A disponibilidade de instalações adequadas para seu tratamento e disposição final é fator essencial para o êxito de qualquer sistema de controle ambiental (YAKOWITZ, 1985 ^[7]; WILSON & FORESTER, 1987 ^[8]; BATSTONE *et al.*, 1989 ^[9]; ANDERSSON, 1991 ^[10]; BALKAU, 1991 ^[11]).

A disposição final é um dos grandes problemas enfrentados pelas indústrias e órgãos governamentais. Em áreas de descartes, é muito comum constatar desequilíbrios entre substâncias nocivas percoladas no conjunto solo/aquífero e a capacidade de auto-purificação dos sistemas ambientais (SCHIANETZ, 1999 ^[12]).

Mesmo os resíduos que são destinados corretamente também precisam ser repensados, pois os aterros são locais que demandam grande área e constante manutenção para que não se transforme em um “lixão controlado”. Ações voltadas para a coleta seletiva desenvolvida em alguns municípios brasileiros e a comercialização de resíduos industriais têm contribuído para a minimização desses

materiais em aterros, entretanto ainda são ações pouco significativas diante do montante de resíduos gerados.

A preocupação do monitoramento em áreas destinadas à disposição final desses materiais deve ter igual importância independente da classificação; parte dos resíduos perigosos gerados no Brasil continua sendo disposta de forma incorreta, muitos deles misturados aos não perigosos e encaminhados para aterros impróprios.

No Brasil, os aterros ainda são o destino mais comum de resíduos, devido o baixo custo (TENÓRIO & ESPINOSA, 2004^[13]). Tanto o aterro sanitário destinado aos não perigosos como os industriais destinados aos perigosos, quando construídos e gerenciados de forma adequada são boas soluções. A longo prazo, contudo, podem, além de gerar complicações ambientais não servirem de incentivos para que as indústrias e os municípios invistam mais em reciclagem e/ou minimização de resíduos.

Mesmo quando bem gerenciados, os aterros produzem ainda o chorume, um líquido escuro e turvo, de odor extremamente desagradável. Ele é um efluente quimicamente complexo, com características particulares para cada aterro, por isso é fundamental que se façam avaliações rigorosas e adequadas para o tipo de tratamento que se enquadra às suas características, que incluem processos físicos, químicos e biológicos.

2- Objetivos

Estudar o comportamento geoquímico dos principais íons metálicos alumínio, ferro, manganês e chumbo associados ao solo, solo/sedimento, águas subterrânea e superficial numa área onde se encontram três Aterros Sanitários e seu entorno, localizados no Município de Tremembé, SP;

3- Caracterização da Área de Estudo

Os Aterros em estudo localizam-se no Município de Tremembé, SP (**Figura 1**), com coordenadas geográficas *Lat* 22°57'45 e *Long* 45°33'17. Os acessos podem ser realizados pelas Rodovias SP-070 Ayrton Senna, pela BR-116 Rodovia Presidente Dutra e SP-123 Rodovia Floriano Rodrigues Pinheiro.



Figura 1 – Acessos da área de estudos no Município de Tremembé – SP Fonte: www.maps.google.com.br

O principal rio de Tremembé é o Paraíba, que corta o Município de leste a oeste. Seus afluentes são o Rio Una, o Piracuama e o Rio Verde, este com nascente no próprio Município.

A área acha-se em situação de Domínio de Mata Atlântica, sendo que parte encontra-se sob as Fitofisionomias (formação florestal) savana e estacional semidecidual. Está em setor definido como Zona de Transição entre o Vale do Rio Paraíba do Sul e a Serra da Mantiqueira (IBGE, 1983 [14]).

O tipo de solo predominante na região é classificado como Podzólicos e Latossolo Vermelho e Amarelo (EMBRAPA, 1981 [15]). Seu uso refere-se à aquicultura, avicultura, pecuária, principalmente leiteira e rizicultura, sendo a maioria das propriedades de pequeno e médio portes.

O regime hídrico é caracterizado como Perúdic (com muita chuva) e o regime térmico dos solos classificam-se como isoipertérmico com profundidade média de 50 cm. O índice pluviométrico anual está em torno de 1.430 mm (WAMBEKE, 1981 [16]).

4- Amostragem

A área de estudo corresponde a três Aterros Sanitários (A, B e C) sendo os resíduos dispostos em A e B pertencentes à classe IIB e os do C à classe IIA.

As amostras de solo foram coletadas utilizando trado manual tipo holandês com 3'' de diâmetro. As coletas foram efetuadas conforme mudanças litológicas do perfil, variando de 0 até 65 cm de profundidade e acondicionadas em sacos de polietileno lacrados e rotulados. Próximo aos aterros as amostras de solo foram coletadas em um antigo leito de secagem de resíduos (**S₁**). Foram também obtidas amostras de solo em locais próximo aos pontos de amostragem de solo/sedimento do Rio Serragem, **S₂** e **S₃**. Este Rio é receptor de um córrego que passa pela área dos Aterros.

Com auxílio de um amostrador improvisado foram coletadas amostras de solo/sedimento no afluente do Rio Serragem (**R_{S4}**) que passa por dentro da área onde estão localizados os Aterros e em outros três pontos do mesmo Rio (**R_{S1}**, **R_{S2}** e **R_{S3}**) externo à área dos Aterros, localizados antes, na foz e depois do afluente. Tomados como referência, coletaram-se amostras do Rio Pimenta (**R_{S5}**) situado externamente à área de influência dos Aterros.

Foram coletadas amostras de águas em poços de monitoramento **A_{A1}** e **A_{A2}** associados ao **Aterro A**; **A_{B1}** e **A_{B2}** ao **Aterro B**; e **A_{C1}** e **A_{C2}** ao **Aterro C**. As técnicas de amostragens das águas subterrâneas foram baseadas em normas da CETESB (2005 ^[17]) e American Public Health Association (APHA, 1995 ^[18]). As amostras líquidas, no momento da coleta, foram filtradas (milipore de 0,45 µm) e acondicionadas em frascos de polietileno com agentes preservantes. Alíquotas de cada amostra, sem a adição dos preservantes, foram mantidas em caixas termoisolantes a temperatura de 4°C.

As águas superficiais foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno seguindo orientações preconizadas pela CETESB (2005 ^[17]) e APHA (1995 ^[18]) e preservadas igualmente às águas subterrâneas. Próximo aos aterros foi coletada amostra de água superficial de um afluente do Rio Serragem (**R_{a4}**). Coletaram-se ainda amostras de águas do Rio Serragem (**R_{a1}**, **R_{a2}** e **R_{a3}**), uma delas onde deságua o córrego que passa dentro da área onde estão os Aterros e outras duas antes e depois desta foz. Coletaram-se também, como referência, águas do Rio Pimenta (**R_r**) que não apresenta ligação direta com os Aterros.

Por ocasião das coletas de águas foram medidos alcalinidade (HYPOLITO *et al.*, 2008 ^[19]), pH, Eh, condutividade elétrica (CE), temperatura e oxigênio dissolvido (OD).

Na **Figura 2** é apresentado um mapa esquemático da área de estudo que apresenta os pontos de amostragem, bem como o sentido de fluxo das águas subterrâneas.

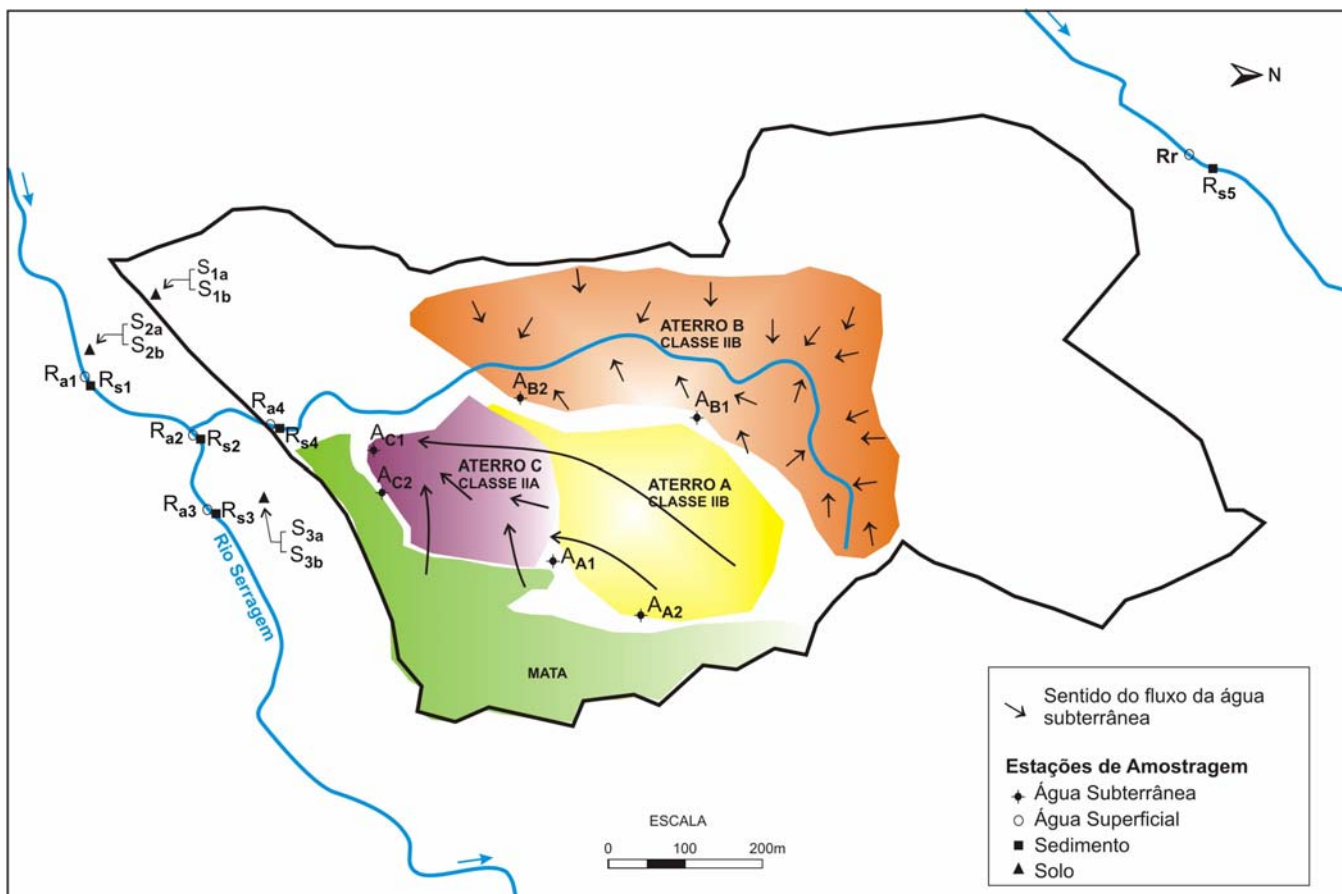


Figura 2 – Estações de amostragem e sentido do fluxo da água subterrânea

Resultados

As amostras de solo e solo/sedimento foram secas à temperatura ambiente, destorroadas, quarteadas e peneiradas para separação em frações inferiores e superiores a 2 mm. Foram realizados determinações de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), pH e matéria orgânica (M.O.) da fração menor de 2mm do solo e solo/sedimento (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Resultados das determinações de CTC, pH e M.O. do solo e solo/sedimento

Amostras (Prof. cm)	S ₁	S ₁	S ₂	S ₂	S ₃	S ₃	R _{S2}	R _{S3}	R _{S4}	R _{S5}
Parâmetros	(0-20)	(20-50)	(0-20)	(20-65)	(0-20)	(20-40)				
pH (CaCl ₂)	4,1	4,1	6,4	4,9	6,0	5,3	5,1	4,3	5,6	5,5
pH (KCl)	4,0	3,9	6,1	4,7	5,7	5,0	4,7	4,1	5,4	5,3
ΔpH	+0,1	+0,2	+0,3	+0,2	+0,3	+0,3	+0,4	+0,2	+0,2	+0,2
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	3,5	4,1	55,3	31,0	34,9	30,5	32,1	20,3	8,4	4,9
M.O. (g kg ⁻¹)	2	1	8	6	18	6	27	45	1	1

Valores positivos de ΔpH indicam presença predominante de cargas negativas nas partículas coloidais, aptas a adsorverem íons metálicos.

Nota-se que a CTC do S_1 , antigo local utilizado para secagem de resíduos, é relativamente baixo em relação ao solo da região (S_2 e S_3).

As análises granulométricas qualitativas e quantitativas foram realizadas pelo Método da Pipeta de Robson (dispersão total) com eliminação prévia de matéria orgânica, seguindo os procedimentos do Laboratório de Sedimentologia - GSA/IGc da USP. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos nos solos prevalecem as frações franco argilo arenosa e franco arenosa (**Figura 3a**) e nas projeções em Diagrama de Shepard ^[20], prevaleceram as frações arenosas para as amostras de solo/sedimento (**Figura 3b**).

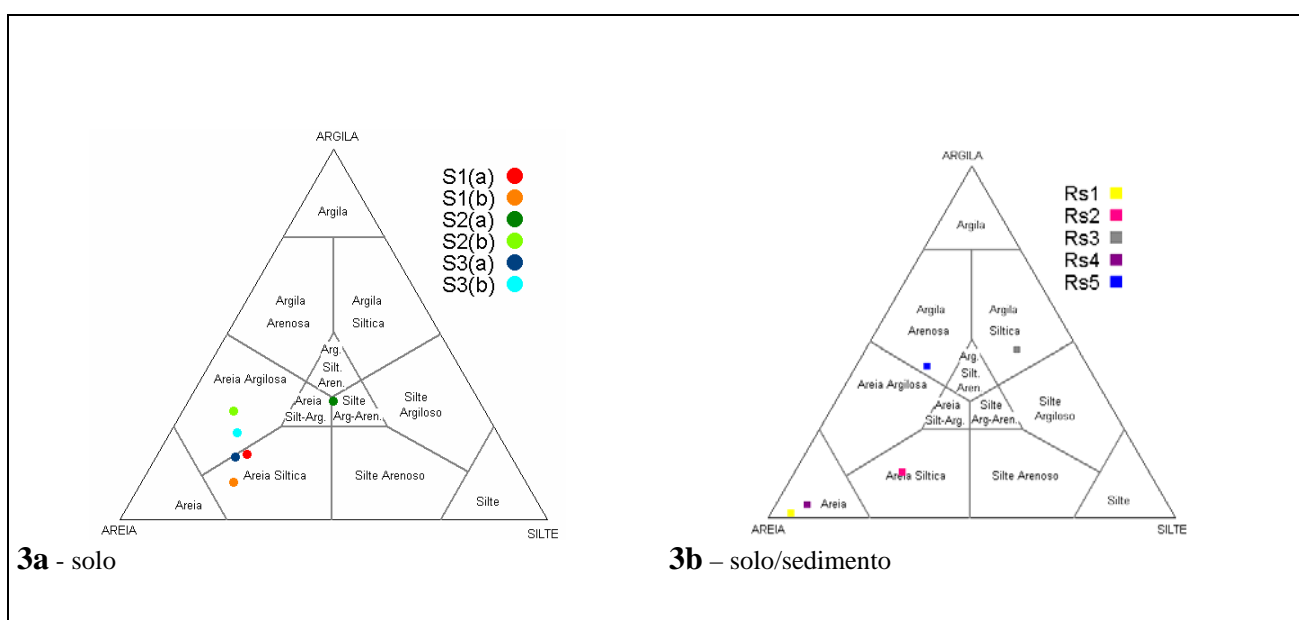


Figura 3 – Classificação granulométrica

A fração argila de solo e solo/sedimento foi analisada por Difração de Raios X nos Laboratórios de Difração de Raios X (D5000/SIEMENS) com raduação $CuK\alpha$ do IGc da USP. Todas as amostras, tanto no solo como para o solo/sedimento são constituídas essencialmente por caulinita, gibbsita e traços de illita.

O solo e solo/sedimento foram analisados quimicamente através da Espectrofotometria por Fluorescência de Raios X, segundo procedimentos do Laboratório de Fluorescência de Raios X do IGc da USP. Os resultados encontram-se na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Análises químicas dos elementos-traço (mg kg^{-1}) do solo e solo/sedimento, obtidas através da Espectrometria por Fluorescência de Raios X

Amostras (Prof. cm)	S ₁ (0-20)	S ₁ (20-50)	S ₂ (0-20)	S ₂ (20-65)	S ₃ (0-20)	S ₃ (20-40)	R _{S2}	R _{S3}	R _{S4}	R _{S5}
Elementos										
Cr _{total}	57	53	76	66	74	18	65	13	14	73
Cu ²⁺	63	32	130	33	65	68	39	80	28	18
Pb ²⁺	42	37	44	48	92	40	227	44	43	28
Ni ²⁺	21	25	80	22	30	16	23	38	16	22
Zn ²⁺	74	53	95	69	146	48	123	81	41	26

Objetivando detectar a disponibilidade iônica do solo e o solo/sedimento, foram efetuadas extrações nítricas (8M) cujos resultados encontram-se na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Resultados obtidos nas extrações (mg kg^{-1}) de solo e solo/sedimento

Amostras (Prof. cm)	S ₁ (0-20)	S ₁ (20-50)	S ₂ (0-20)	S ₂ (20-65)	S ₃ (0-20)	S ₃ (20-40)	R _{S1}	R _{S2}	R _{S3}	R _{S4}	R _{S5}
Parâmetros											
Al ³⁺	2325,74	2359,92	3333,99	2899,53	2335,29	2289,85	2499,27	2992,32	3625,40	896,94	1121,31
Fe _{total}	691,03	610,17	3390,72	2696,34	2580,48	1508,24	16412,39	5230,83	12406,40	1073,16	1778,64
Mn ²⁺	16,97	19,94	120,42	89,78	147,51	97,95	956,17	111,67	261,78	67,32	41,56
Ca ²⁺	48,93	149,55	1939,69	966,82	1236,92	834,58	2099,89	1332,13	429,71	413,82	127,59
Ni ²⁺	1,99	2,99	4,97	4,72	5,98	2,99	5,83	6,98	3,95	4,95	4,83
Pb ²⁺	32,95	30,90	27,86	33,08	69,77	35,98	42,75	142,58	42,48	31,68	22,23
Cu ²⁺	33,95	6,98	8,95	9,45	32,89	44,97	19,43	23,93	14,82	8,91	3,86
Cd ²⁺	1,99	0,99	1,99	1,89	1,99	1,99	3,88	1,99	1,97	1,98	1,93
Cr _{total}	0,99	nd	1,99	3,78	8,97	2,99	6,80	5,98	6,91	1,98	1,93
Zn ²⁺	24,96	11,96	17,91	13,23	62,79	17,99	31,09	60,82	22,72	14,85	8,69

nd = não detectado

Os resultados obtidos nas extrações totais, quando comparados aos resultados das análises químicas (FRX e extrações totais), mostram baixa disponibilidade iônica para as espécies químicas, com exceção do chumbo onde pôde-se perceber que, em praticamente todas as amostras, a disponibilidade deste íons está associada à origens antrópicas, ou seja, associada à parte sólida do solo e não estrutural.

A concentração de íons metálicos em águas naturais acha-se intimamente associado aos fenômenos de sorção (adsorção e absorção) e dessorção. Estes fenômenos, por sua vez, encontram-se na dependência de parâmetros como pH, potencial redox, condutividade elétrica e alcalinidade que foram medidos em campo e apresentados nas **Tabela 4**.

Tabela 4 – Dados químicos e físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais dos Aterros

Pontos de amostragem / Parâmetros	A _{A1}	A _{A2}	A _{B1}	A _{B2}	A _{C1}	A _{C2}	Pontos de amostragem / Parâmetros	R _r	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}	
N.A. (m)	12,56	19,00	19,05	12,46	17,06	14,87	pH	8,52	8,25	8,42	5,80	7,30	
pH	5,64	5,95	5,92	6,08	6,73	6,44	Eh (V)	+0,17	+0,12	+0,19	+0,20	+0,12	
Eh (V)	+0,16	+0,25	+0,23	+0,21	+0,12	+0,29	OD (mg dm ⁻³)	0,13	0,05	0,19	0,13	4,51	
CE (µS cm ⁻¹)	62	89	50	19	45	18	CE (µS cm ⁻¹)	21	66	250	61	1 185	
Alcalinidade (CaCO ₃ mg dm ⁻³)	13,00	11,00	8,00	6,00	8,00	13,00	Alcalinidade (CaCO ₃ mg dm ⁻³)	5,00	8,00	40,00	5,00	43,00	
água subterrânea							água superficial						

As amostras de águas subterrâneas apresentaram temperatura média de 21°C, pH ligeiramente ácido com valor médio 5,90 e os potenciais de óxido-redução positivos indicando ambientes oxidantes para todas as amostras. Os valores de alcalinidade, como era de se esperar para águas subterrâneas, apresentaram-se baixos. A temperatura das águas superficiais variaram de 17, 60 °C à 22,00 °C. O pH médio foi 7,70 e Eh também positivos para todas as amostras.

As amostras de águas coletadas e acidificadas foram analisadas quimicamente por Espectrofotometria de Absorção Atômica de Chama (AAC), Modelo CGAA 7 000 BC, realizadas no Laboratório do Centro de Pesquisa de águas Subterrâneas (CEPAS) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

As análises químicas de ânions foram analisadas por Cromatografia Líquida (Dionex 2010 i), realizadas também no laboratório do CEPAS.

Os resultados das análises químicas para os cátions das águas subterrâneas são apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5– Análises químicas de cátions (mg dm^{-3}) das águas subterrâneas na área dos Aterros

Parâmetros	Amostras					
	A _{A1}	A _{A2}	A _{B1}	A _{B2}	A _{C1}	A _{C2}
Al ³⁺	0,05	13,58	2,20	0,08	0,06	0,99
Fe _{total}	nd	22,80	3,31	nd	0,05	0,11
Mn ²⁺	0,01	0,53	0,49	0,02	0,01	0,21
Mg ²⁺	0,40	4,10	0,80	0,60	0,50	2,50
Ca ²⁺	2,90	11,75	3,70	0,65	1,95	9,95
Na ⁺	4,70	6,70	4,00	1,70	3,50	0,80
K ⁺	5,50	2,70	4,70	5,90	2,10	4,30
Pb ²⁺	0,04	0,04	nd	nd	nd	0,03

Nd = não detectado

	Fe _{total}	Mn ²⁺	Al ³⁺	Pb ²⁺
PORTARIA 396 ¹	0,30	0,10	0,20	0,01
PORTARIA 518 ²	0,30	0,10	0,20	0,01

1: Valores orientadores para águas subterrâneas da Resolução 396/08 do CONAMA (mg dm^{-3})2: Valores orientadores da Portaria 518/04 – Ministério da saúde – Padrão de potabilidade (mg dm^{-3})

Os resultados analíticos das águas subterrâneas, em diversos pontos, indicam que o ferro, manganês e alumínio encontram-se em concentrações acima dos permitidos pelos órgãos oficiais. O ferro superou em muito os valores máximos permitidos pela CETESB, em especial nos pontos **A_{A2}** que ultrapassou quase 100 vezes o indicado para que a água pudesse ser consumida e **A_{B1}** que também ultrapassaram os valores máximos permitidos.

Mais preocupante, contudo, dada sua periculosidade, foram os resultados obtidos para o chumbo que apresentaram, nas estações de amostragem **A_{A1}**, **A_{A2}** e **A_{C2}**, concentrações até quatro vezes superiores aos limites máximos permitidos. Este fato se reveste de grande preocupação, uma vez que na região a grande maioria da população utiliza para consumo águas extraídas de poços do tipo cacimba.

Valores de pH baixos propiciaram a disponibilidade do alumínio, ferro e chumbo na água subterrânea.

Utilizando o diagrama de concentração em relação ao pH (MORGAN & STUMM, 1995 ^[21]) observa-se que o chumbo na faixa de pH que se encontra indica equilíbrio entre $\text{Pb}^{2+}/\text{PbCO}_3$, no entanto com grande domínio da forma iônica Pb^{2+} , além de coexistirem quantidades negligenciáveis de $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$, PbCl^+ , PbOH^+ .

O alumínio aparece na forma iônica Al^{3+} quando plotados seus valores no diagramas de concentrações em função do pH (MORGAN & STUMM, 1995 ^[21]), além de concentrações ínfimas de $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, AlOH^{2+} e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ e $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{aq})}$.

A projeção dos valores de pH em função do potencial de óxido-redução (Eh) (**Figura 4**) mostram equilíbrio dos íons ferro com suas forma insolúvel de óxido/hidróxido. Os íons manganês mostram sua estabilidade na forma iônica reduzida como Mn^{2+} .

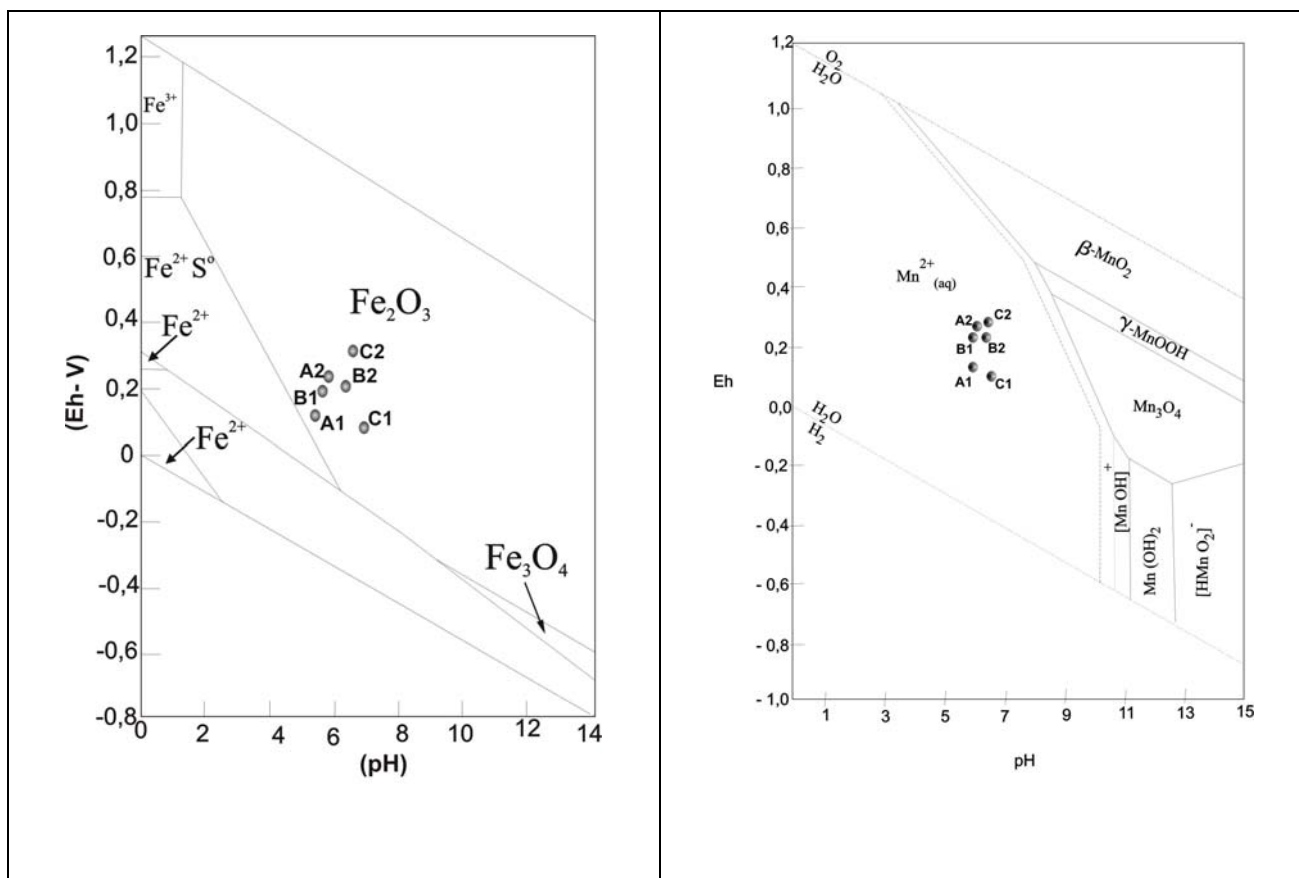


Figura 4 – Diagramas $\text{pH} = f(\text{Eh})$ de compostos de ferro e manganês à 25°C e 1 atm. Fonte: modificado de Brookins (1988 ^[22]) e Hypolito (1980 ^[23])

As elevadas concentrações dos íons chumbo, ferro, alumínio e manganês que superam os valores máximos permitidos, na maioria dos casos aparecem associados aos aterros sanitários. Da mesma forma que as águas subterrâneas, as superficiais, em alguns casos, em especial aquelas com influência dos Aterros, ultrapassam os limites máximos permitidos para ferro, manganês e alumínio. Os resultados das análises químicas para os cátions das águas superficiais são apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 6– Resultados das análises químicas de cátions (mg dm^{-3}) das águas superficiais presentes na área dos Aterros e entorno

Amostras	R _r	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}
Al ³⁺	nd	nd	nd	0,06	0,14
Fe _{total}	0,05	1,06	4,54	0,89	0,55
Mn ²⁺	0,02	0,04	0,52	0,13	0,19
Mg ²⁺	0,45	0,55	0,45	1,50	1,95
Ca ²⁺	1,30	1,35	3,20	1,45	8,60
Na ⁺	2,20	2,40	28,60	2,30	32,60
K ⁺	2,00	1,80	3,80	1,30	3,60

	Fe _{total}	Mn ²⁺	Al ³⁺
RESOLUÇÃO 357 ¹	0,30	0,10	0,10
PORTARIA 518 ²	0,30	0,10	0,20

1: Valores orientadores da Resolução 357/05 - água superficial, classe II (mg dm^{-3})

2: Valores orientadores da Portaria 518/04 – Ministério da saúde – Padrão de potabilidade (mg dm^{-3})

Dados analíticos dos ânions das águas subterrâneas e superficiais enviadas para análises químicas no Espectrofotômetro de Absorção Atômica encontram-se nas **Tabela 7**.

Tabela 7 – Resultados dos ânions (mg dm^{-3}) das análises químicas das águas subterrâneas e superficiais presentes na área dos Aterros

Amostras							Amostras					
Parâmetros	A _{A1}	A _{A2}	A _{B1}	A _{B2}	A _{C1}	A _{C2}	Parâmetros	R _r	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{a4}
F^-	0,06	0,01	0,02	0,04	0,03	0,06	F^-	0,04	0,14	0,11	0,03	0,39
Cl^-	0,27	0,97	0,12	0,57	0,22	0,38	Cl^-	0,65	1,38	24,91	0,96	23,36
NO_2^-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	NO_2^-	nd	nd	nd	nd	nd
SO_4^{2-}	68,89	1,34	0,25	0,25	0,17	2,31	SO_4^{2-}	1,06	1,45	30,24	0,36	126,06
NO_3^-	1,57	7,23	1,34	2,0	5,48	0,96	NO_3^-	3,16	2,36	1,77	0,87	1,68
água subterrânea							água superficial					

A presença de concentrações elevadas de sódio, potássio, sulfatos e cloretos foram responsáveis pelos valores elevados de condutividade elétrica para as amostras **R_{a2}** e **R_{a4}**, ambas com influência direta dos Aterros. Esses íons foram também detectados, em grande quantidade, posteriormente quando se realizaram análises dos chorumes presente nos Aterros.

5- Conclusões

Neste trabalho constatou-se a presença de íons poluentes de metais pesados associados aos Aterros Sanitários, alguns muito acima dos padrões de potabilidade da água.

Valores de pH com características ácidas propiciam maior mobilidade a esses íons, constituindo-se num parâmetro que supera a influência do potencial de óxi-redução com valores sempre positivos imprimindo condições de fixação, principalmente para o ferro e manganês.

Estudos dos atributos do solo indicam também condições inapropriadas para retenção de íons metálicos sendo, portanto, mais um fator de risco que contribui para o comprometimento da área. Na grande maioria o solo possui características franco arenosas e franco argilo-arenosas com capacidade limitada quanto à retenção de íons metálicos. Sua composição mineralógica é basicamente constituída de caulinita com traços de illita e gibbsita. Essa composição associada aos baixos valores de capacidade de troca catiônica confirma a baixa fixação dos íons de metais pesados.

As amostras de solo/sedimento das margens do Rio Serragem, seu afluente e Rio Pimenta são constituídos por sedimentos arenosos, com composição mineralógica também composta essencialmente por caulinita e gibbsita, conseqüentemente com valores baixos de capacidade de troca catiônica, não se mostrando aptas na retenção de íons metálicos.

Diante destes resultados e levando em conta que uma porção considerável da população se serve de água para consumo humano extraídas de poços do tipo cacimba, além de regas a hortas, dessedentação de animais e abastecimento de ranários por rios e lago, confirma-se necessidade urgente de controle rigoroso dos agentes poluentes. Este controle poderia se iniciar pela triagem prévia dos resíduos que são encaminhados aos aterros sanitários, principalmente através de eficiente campanhas de coleta seletiva.

6- Referências Bibliográficas

- [1] TRIGUEIRO, A. (coord.), 2003. Meio Ambiente no Século 21. Editora Sextavante. Rio de Janeiro. 367 p.
- [2] ARCURI, A.S.A. & FERNICOLA, N. A.G.G. (2003). Riscos ao Meio Ambiente e Acidentes Relatados. In: METAIS: Gerenciamento da Toxicidade. AZEVEDO, F.A. & CHASIN, A.A.M. Atheneu Inter Tox 554 p.
- [3] ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais: Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil (2004). Disponível em <http://www.abrelpe.com.br>. 83 p.
- [4] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1996). Dimensionamento, Financiamento e Operação de uma Instalação Central de Eliminação de Resíduos Industriais Perigosos. Anais de Workshop. São Paulo.
- [5] www.cempre.org.br/ciclosoft
- [6] OLIVEIRA, D. M.; CASTILHOS, A. B. Jr.; NICOLETTI, A. (2003). Classificação de Resíduos Industriais (NBR 10.004): Uma Ferramenta para o Gerenciamento de Resíduos da Indústria Petrolífera. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. (ABES) p. 175.
- [7] YAKOWITZ, H. Hazardous waste management: an international overview (1985). Paris. OECD (Conference on National Strategies for Managing Hazardous waste, Melbourne). 80 p.
- [8] WILSON, D. C. & FORESTER, W.S. (1987). Summary and analysis of hazardous waste management in ISWA countries. In FORESTER, W.S. & SKINNER, J. H. International Perspectives on Hazardous waste management. London, Academic Press, p. 11-96.

- [9] BATSTONE, R.; SMITH, J. E.; WILSON, D. (1989). The safe disposal of hazardous wastes: the special needs and problems of developing countries. Washington: World Bank, 3 v (World Bank Technical Paper Number 93).
- [10] ANDERSSON, K. et al. (1991). Safe hazardous waste management systems: a state-of-the-art guide for decisions makers. ISWA Working Group on Hazardous Wastes – Series 1991, number 1).
- [11] BALKAU, F. (1991). Management and control systems for hazardous waste. Paris: UNEP. 28 p.
- [12] SCHIANETZ, B. (1999). Passivos Ambientais: Levantamento Histórico, Avaliação da Periculosidade e Ações de Recuperação. Curitiba: SENAI, 200 p.
- [13] TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R. (2004). Controle Ambiental de Resíduos In: Curso de Gestão Ambiental PHILIPPI, A.Jr.; ROMÉRO, M.A.; BRUNA, G.C.; Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo , Núcleo de Informações em Saúde Ambiental.
- [14] www.ibge.gov.br
- [15] EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1981). Mapa de solos do Brasil. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura.
- [16] WAMBEKE, V.A. (1981). Calculated soil moisture and temperature regimes of South.
- [17] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2005). Amostragem de água superficial e subterrânea.
- [18] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1995). APHA - American Water Works Association. Water Environmental Federation. 19 ed.
- [19] HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; SILVA, L. H.; NASCIMENTO, S. C. (2008). Alcalinidade – Metodologia para Determinação em Campo. *Analytica*. Ano 6, nº 35. p. 52-61.
- [20] SHEPARD, F.P. (1954) Revised Nomenclature for Depositional Coastal Features. *Ameri. Ass. Pet. Geol. Bull.*, Tulsa. v.36, nº 10, p.1902-1912.
- [21] MORGAN, J. J.; STUMM, W. (1996). Aquatic chemistry : chemical equilibria and rates in natural waters. 3ª Edição. Environmental science and technology. 1022 p.
- [22] BROOKINS, D.G. (1988). *Eh - pH Diagrams for Geochemistry*. Springer-Verlag, New York. 176 p.
- [23] HYPOLITO, R. (1980). Criptomelana – Síntese e Estabilidade. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 160 p.