



**PREFEITURA MUNICIPAL DE CAPELA DO ALTO**

**INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL**

(Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória)

“Vazadouro Municipal de Resíduos”

Bairro do Cercadinho

**CAPELA DO ALTO / SP**

**JULHO - 2014**

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	2
2.	INFORMAÇÕES GERAIS .....	4
3.	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO.....	4
3.1.	HISTÓRICO .....	4
3.2.	LOCALIZAÇÃO .....	6
4.	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO MUNICÍPIO DE CAPELA DO ALTO .....	7
5.	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO.....	8
5.1.	ASPECTOS GEOLOGICOS E GEOMORFOLÓGICOS .....	8
6.	INSPEÇÃO E VISTORIA .....	22
6.1.	USO E OCUPAÇÃO.....	22
6.2.	OPERAÇÃO E DESCARTES DE RESÍDUOS .....	25
7.	GEOFÍSICA.....	25
8.	AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS. ....	28
9.	RESULTADOS DA GEOFISICA .....	35
10.	TOPOGRAFIA .....	37
11.	SONDAGEM DE RECONHECIMENTO AMBIENTAL .....	39
12.	RESULTADOS DA RELEVANCIA DE RESÍDUOS .....	41
13.	MODELO CONCEITUAL .....	43
14.	ABERTURA E CONSTRUÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.....	44
15.	CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA E GEOLOGICA LOCAL .....	56
16.	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGICA LOCAL .....	56
17.	SCREENING PARA GASES NO SOLO.....	60
18.	CAMPANHA DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRANEA .....	67
19.	ANÁLISE DA ÁGUA SUBTERRANEA .....	70
20.	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE .....	71
21.	RESULTADOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	74
21.1.	COMPORTAMENTO DO NITRATO .....	80
21.2.	COMPORTAMENTO DO CHUMBO.....	81
22.	CONTAMINAÇÃO POR LIXIVIADO .....	82
23.	MAPEAMENTO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO .....	86



24. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
25. RECOMENDAÇÕES .....	91
26. REFERÊNCIAS .....	92

## FIGURAS

FIGURA 1 – OBSERVA-SE A OPERAÇÃO DE MAQUINAS NO PERÍODO DE OPERAÇÃO DO ATERRO. ....	5
FIGURA 2 – OBSERVA-SE A FRENTE DE RESÍDUO NO PERÍODO DE OPERAÇÃO DO ATERRO. ....	6
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS “VAZADOURO MUNICIPAL DE RESÍDUOS”.7	
FIGURA 4 – SEÇÃO ESQUEMÁTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. (ADAPTADO DE AB’SABER, 1957). ....	9
FIGURA 5 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA BACIA DO PARANÁ, E DISTRIBUIÇÃO NO TEMPO DAS DIVERSAS UNIDADES DE SEU REGISTRO ESTRATIGRÁFICO. COM A LOCALIZAÇÃO DA BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ (NEGRITO) DENTRO DO MAPA DA AMÉRICA DO SUL (MILANI, 1997 APUD MILANI ET AL.,2007). ....	11
FIGURA 6 – A ÁREA DE ESTUDO ESTÁ LOCALIZADA NO DOMÍNIO GEOTECTÔNICO DA BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ. (CPRM, 2006). ....	15
FIGURA 7 – MAPA GEOLÓGICO REGIONAL APRESENTANDO O GRUPO ITARARÉ E SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS DO RIO SARAPUÍ. (CPRM, 2006). ....	16
FIGURA 8 – LAYOUT DO EMPREENDIMENTO COM A TOPOGRAFIA. ....	22
FIGURA 9 – USO E OCUPAÇÃO DO EMPREENDIMENTO (RAIO DE 500 M) – CENTRO ÁREA DO ATERRO (VERMELHO) AO NORTE ENCONTRA-SE O BAIRRO RESIDENCIAL (AZUL), MOVIMENTAÇÃO DE TERRA (LARANJA) E DEMAIS ÁREAS AO ENTORNO COM PASTAGEM E AGRICULTURA (AMARELA). ....	23
FIGURA 10 – SITUAÇÃO DO ATERRO ENTRE A TOPOGRAFIA ATUAL E CARTA DO IGC. ....	24
FIGURA 11 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS GEOFÍSICOS NA ÁREA DE ESTUDO. ....	26
FIGURA 12 - ESQUEMA DE CAMPO PARA A AQUISIÇÃO DE UMA SEV ATRAVÉS DO ARRANJO SCHLUMBERGER, INDICANDO A POSIÇÃO DOS ELETRODOS DE CORRENTE (AB) E DE POTENCIAL (MN) E A DISTRIBUIÇÃO EM SUBSUPERFÍCIE DAS LINHAS DE CORRENTE E DE EQUIPOTENCIAL (MALAGUTTI EL AL. 1999, IN ELIS ET AL. 2004) 27	
FIGURA 13 - ESQUEMA DE CAMPO PARA O CAMINHAMENTO ELÉTRICO ATRAVÉS DO ARRANJO DIPOLO-DIPOLO, INDICANDO A POSIÇÃO DOS ELETRODOS DE CORRENTE (AB) E DE POTENCIAL (MN), NÍVEIS TEÓRICOS DE INVESTIGAÇÃO E A DISTRIBUIÇÃO EM SUBSUPERFÍCIE DAS LINHAS DE CORRENTE E DE EQUIPOTENCIAL. (MALAGUTTI EL AL. 1999, IN ELIS ET AL. 2004) ....	28
FIGURA 14 – PSEUDO-SEÇÃO REFERENTE AO CAMINHAMENTO ELÉTRICO CE-01. ....	30
FIGURA 15 - PSEUDO-SEÇÃO REFERENTE AO CAMINHAMENTO ELÉTRICO CE-02. ....	31
FIGURA 16 - PSEUDO-SEÇÃO REFERENTE AO CAMINHAMENTO ELÉTRICO CE-03. ....	31
FIGURA 17 - PSEUDO-SEÇÃO REFERENTE AO CAMINHAMENTO ELÉTRICO CE-04. ....	32
FIGURA 18 – ELETRORRESISTÍMETRO UTILIZADO PARA O CAMINHAMENTO ELÉTRICO. ....	32
FIGURA 19 – EXECUÇÃO DO MÉTODO DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL – SEV NA ÁREA DE ESTUDO DO VAZADOURO DE RESÍDUOS. ....	33
FIGURA 20 – GRÁFICOS DAS SEVS REALIZADAS. ....	34
FIGURA 21 – UTILIZAÇÃO DO GPS GEODÉSICO PARA REALIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO CADASTRAL. ....	37

FIGURA 22 – UTILIZAÇÃO DE ESTAÇÃO TOTAL PARA NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO.....	38
FIGURA 23 – INICIO DOS SERVIÇOS DE SONDAAGEM DE RECONHECIMENTO NO LOCAL.....	40
FIGURA 24 – EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE SONDAAGEM A TRADO PARA RECONHECIMENTO DO MACIÇO DE RESÍDUOS.....	40
FIGURA 25 – VISUALIZA-SE O MODELO DIGITAL DO MACIÇO DE RESÍDUOS GERADOS ATRAVÉS DA CUBAGEM.	
41	
FIGURA 26 – MAPA DE SITUAÇÃO DO ANTIGO LIXÃO. OS LOCAIS SUSPEITOS ENCONTRAM AO CENTRO DA ÁREA NA CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	42
FIGURA 27 – FLUXOGRAMA DO MODELO CONCEITUAL.....	43
FIGURA 28 – EXECUÇÃO DA SONDAAGEM MANUAL ATRAVÉS DE TRADO.....	47
FIGURA 29 – EXECUÇÃO DA SONDAAGEM MECANIZADA ATRAVÉS DE SONDA ROTATIVA.....	47
FIGURA 30 – PROJETO DO POÇO DE MONITORAMENTO COM REVESTIMENTO SIMPLES.....	48
FIGURA 31 – REVESTIMENTO PROTETOR.....	51
FIGURA 32 – ENCERRAMENTO DO POÇO DE MONITORAMENTO DE GASES, OBSERVA-SE A VÁLVULA DE FECHAMENTO.....	55
FIGURA 33 – VISUALIZA-SE A TAMPA DE PROTEÇÃO TIPO CALCADA INSTALADO NO POÇO DE MONITORAMENTO DE GASES.....	55
FIGURA 34 – MAPA POTENCIOMÉTRICO 3D E FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	59
FIGURA 35 – EXECUÇÃO DA PERFURAÇÃO COM MARTELETE PARA MEDIÇÃO DE GASES NO MACIÇO DE RESÍDUOS.....	61
FIGURA 36 – MEDIÇÃO EM CAMPO DOS PARÂMETROS METANO, OXIGÊNIO E PID, COM O APARELHO IBRID MODELO MX6.....	62
FIGURA 37 – FRASCOS UTILIZADOS NA AMOSTRAGEM DE BAIXA VAZÃO.....	68
FIGURA 38 – REALIZAÇÃO DA FILTRAGEM EM CAMPO DA AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	69
FIGURA 39 – PROCEDIMENTO DE COLETA COM ACOMPANHAMENTO E MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE CAMPO.....	69
FIGURA 40 – ARMAZENAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ENVIO AO LABORATÓRIO.....	70
FIGURA 41 – INICIO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE (SLUG TEST) NO POÇO DE MONITORAMENTO.....	72
FIGURA 42 – EXECUÇÃO DO SLUG TEST NO POÇO PM-08.....	72
FIGURA 43 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE PH NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	76
FIGURA 44 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE EH NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	77
FIGURA 45 – PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS EM UM ATERRO SANITÁRIO (DEUTSCH, 1997).....	85
FIGURA 46 – CONCENTRAÇÃO DO FERRO E MANGANÊS DISSOLVIDO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA AO LONGO DO SEU FLUXO EM UM ATERRO SANITÁRIO (DEUTSCH, 1997).....	86

## TABELAS

TABELA 1 – SÍNTESE DA LOCALIZAÇÃO E COMPRIMENTO DO CAMINHAMENTO ELÉTRICO (DIPOLO-DIPOLO).

29

TABELA 01 – LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA. ....	53
TABELA 02 – LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DE GASES. ....	54
TABELA 03 - DADOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA (JUN/2014). ....	57
TABELA 04 – VALORES DE MEDIÇÃO DE GASES - SCREENING. ....	62
TABELA 05 – VALORES DE MEDIÇÃO DE GASES NOS POÇOS DE MONITORAMENTO DE GASES. ....	66
TABELA 06 – DADOS DE CAMPO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO (JUN/2014). ....	74
TABELA 07 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM OS VALORES ORIENTADORES CETESB. ....	78
TABELA 08 – MOBILIDADE DO FLUXO SUBTERRÂNEO ENTRE OS POÇOS DE MONITORAMENTO. ....	87

## ANEXOS

1. MAPA PLANIALTIMETRICO CADASTRAL
2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS DE RECONHECIMENTO AMBIENTAL
3. BOLETINS DE SONDAGENS RECONHECIMENTO AMBIENTAL
4. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO
5. PERFIS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO
6. PERFIL GEOLOGICO
7. MAPA POTENCIOMÉTRICO
8. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MALHA DE SCREENING DE GASES
9. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
10. LAUDOS ANALÍTICOS ÁGUA SUBTERRÂNEA
11. ANÁLISE FÍSICA DO SOLO
12. MAPAS DE INTERVENÇÃO
13. SLUG TEST
14. DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE
15. ART - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

## RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Assinatura		
Rafael Ivens da S. Bueno	Eng. Sanitarista e Ambiental CREA/SP 5062324547	
Paulo Roberto Tobiezi	Biólogo / Tecg <sup>o</sup> . Saneamento Ambiental CREA/SP 5060342342	

## EQUIPE TÉCNICA

Assinatura		
Bruno Daniel Lenhare	Geólogo CREA/SP 5062286893	
Mayone Santana Miranda	Engenheiro Agrimensor CREA/SP 5069186462	



## 1. INTRODUÇÃO

O presente relatório tem por finalidade atribuir informação sobre a realização da investigação ambiental na área do antigo local de disposição final de resíduos, "Vazadouro municipal de resíduos" localizado no bairro do Cercadinho no município de Capela do Alto, pertencentes à PREFEITURA MUNICIPAL DE CAPELA DO ALTO.

O processo administrativo o qual se refere este trabalho está sob o Nº. 100/2013 entre a Prefeitura Municipal de Capela do Alto e a empresa RESITEC SERVIÇOS INDUSTRIAIS LTDA. Essa Investigação Ambiental foi uma exigência da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, através do documento intitulado, PARECER TÉCNICO nº 167/10/TACR de 20/12/2010. Esta Investigação Ambiental consiste basicamente na Avaliação Preliminar e na Investigação Confirmatória da área sob influência do lixão, e fazem parte do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

A etapa de avaliação preliminar nas áreas de disposição de resíduos de origem urbana tem por objetivo levantar informações sobre o histórico de operação da área, constatar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área sob avaliação, por meio do levantamento de informações disponíveis sobre o uso atual e pretérito da área. Este diagnóstico inicial seguiu as seguintes ações: visita técnica e entrevista com pessoas ligadas ao funcionamento da coleta e descarte dos resíduos, a fim de obter um modelo conceitual para a atividade do empreendimento.

Já a segunda etapa de investigação confirmatória tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação gerada a partir da área de disposição de resíduos, incluídas todas as unidades operacionais que dela fazem parte, como exemplo, sistemas de tratamento de efluentes que existam no local. Nesta etapa serão coletadas amostras de água subterrânea e águas superficiais identificadas na avaliação preliminar para serem analisadas em laboratório.

O antigo vazadouro ocupa uma área de 3,5 ha e, segundo informações do TR de março de 2012. Recebiam, em média 420 toneladas por mês provenientes da coleta de resíduos sólidos urbanos do município de Capela do Alto.

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho está em conformidades preconizadas pelo “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas” (CETESB, 2001) e o documento “Procedimento para Gerenciamento de áreas contaminadas” (2007), apresentando as seguintes etapas:

- ✓ Avaliação Preliminar; e
- ✓ Investigação Confirmatória.

A partir dessas conformidades foram conduzidos os trabalhos de campo descritos a seguir:

- ✓ Campanha 1 – vistoria/inspeção; entrevistas; geofísica e topografia;
- ✓ Campanha 2 – sondagem de reconhecimento ambiental no maciço de resíduos;
- ✓ Campanha 3 – abertura e desenvolvimentos dos poços de monitoramento de água subterrânea e gases;
- ✓ Campanha 4 – medição de gases no maciço de resíduos e nos poços de monitoramento de gases;
- ✓ Campanha 5 – amostragem da água subterrânea e análises laboratoriais; e
- ✓ Campanha 6 – ensaios de slug test.

## **2. INFORMAÇÕES GERAIS**

Parecer Técnico CETESB: **167/10/TACR de 20/12/2010**

Interessado: **Prefeitura Municipal de Capela do Ato**

Denominação: **Vazadouro municipal de resíduos**

Assunto: **Investigação Ambiental na Área do Lixão Municipal de Capela do Alto**

Município: **Capeta do Ato/SP**

Bacia: **Sorocaba Médio – Tietê (UGRHI 10)**

Descrição: **Local de disposição final de resíduos urbanos municipal.**

Produção média: **420 t/mês**

Paralisação das atividades: **Setembro/2013**

Área: **3,5 ha**

## **3. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO**

### **3.1. HISTÓRICO**

A formação de Capela do Alto, relativamente recente, foi impulsionada pela chegada de imigrantes alemães, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, mas contou também com famílias que já estavam fixadas na região, sendo lendária a história da fundação da cidade pelas famílias Menck, Plens Wincler e Pops. (Natália Menk, et al).

Originalmente, a terra onde surgiria Capela do Alto, costumava ser local de passagem de tropeiros procedentes do sul do País, que iam comercializar seus mueres nas famosas feiras de Sorocaba. Posteriormente, um monge vindo das terras de Ipanema, ergueu no Município quatorze cruzeiros, que até o ano de 1960 serviram para realização da via sacra durante a quaresma, o local foi denominado então Cruzeiro, a qual foi situada defronte a Igreja de Nossa Senhora das Dores, ao redor das quais cresceu o Município. Tornou-se Distrito do Município de Araçoiaba da Serra em 30 de dezembro de 1953, e conquistou sua autonomia municipal, em 28 de fevereiro de 1964

O Município possui uma população de 17.232 habitantes, sendo 11.111 na área urbana e 6.121 na área rural (senso 2008 – IBGE) e sua extensão territorial é de 170 km<sup>2</sup>. A participação da agropecuária no total adicionado do Município é 56,36%, seguido pelos serviços que respondem por 32,77%.

De acordo com funcionários a operação no local encontra-se paralisada desde setembro de 2013, a seguir apresentam-se imagens da operação em janeiro de 2013.



Figura 1 – Observa-se a operação de máquinas no período de operação do aterro.



Figura 2 – Observa-se a frente de resíduo no período de operação do aterro.

### 3.2. LOCALIZAÇÃO

Sua posição geográfica é Latitude 23° 28' 14" Sul e Longitude 47° 44' 05" Oeste, estando a uma altitude de 625 metros. Pertence à Região administrativa de Sorocaba e à Região de Governo de Itapetininga.

O Município pertence a Bacia do Sorocaba/Médio Tietê, com destaque para o Rio Sarapuí que banha o Município. Faz divisa com os Municípios de Araçoiaba da Serra, Tatuí, Itapetininga, Iperó, Alambari e Sarapuí.

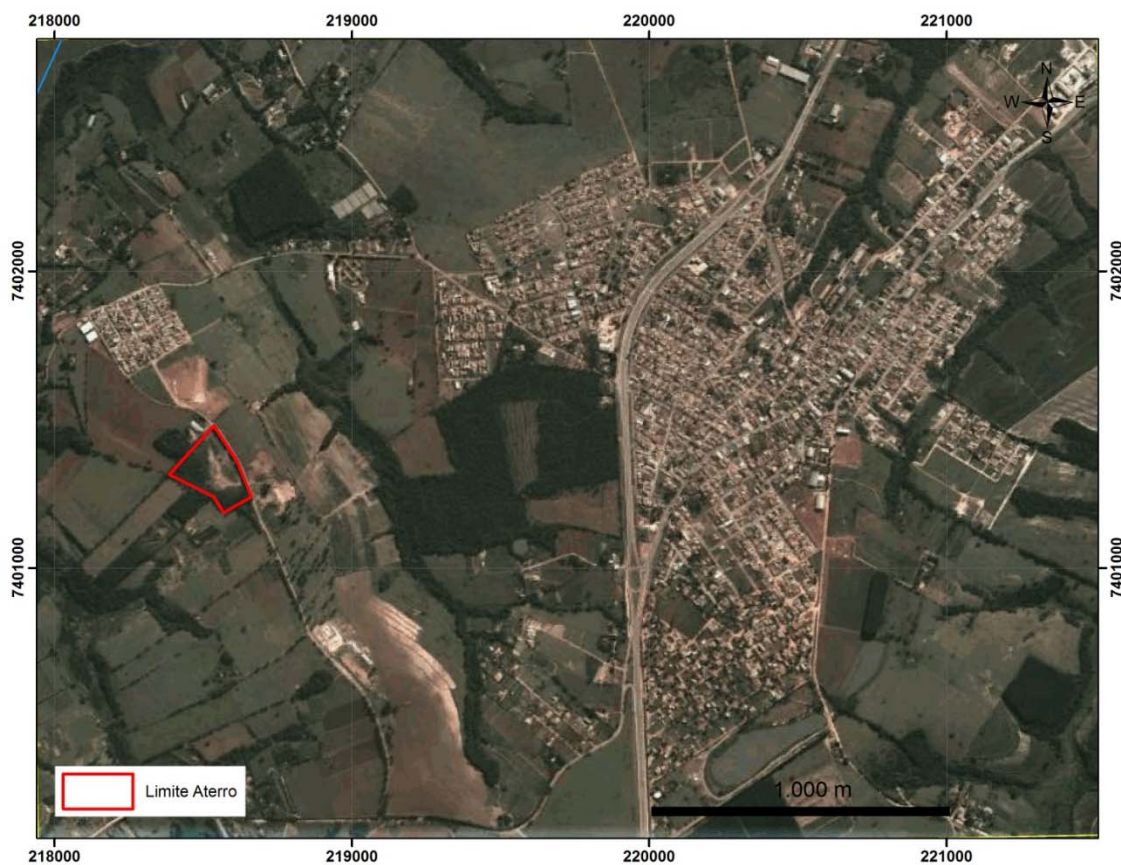


Figura 3 – Localização da Área de Disposição de Resíduos “Vazadouro municipal de resíduos”.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO MUNICÍPIO DE CAPELA DO ALTO

Os resíduos municipais caracterizam-se por lixo doméstico, misturados a resíduos recicláveis. De modo geral os resíduos classificam-se como CLASSE II A. (Natália Menk, et al).

Os resíduos domésticos gerados pela população encontram-se entre 8 a 10 toneladas/dia, incluindo os resíduos orgânicos e recicláveis, conforme o levantamento realizado em 2009. (Natália Menk, et al).

Dos resíduos domésticos encaminhados para o aterro, cerca de 70% dos recicláveis são removidos na triagem, sendo encaminhado para aterro 30% de recicláveis misturados

aos resíduos orgânicos. No mês de dezembro de 2009, das 317 toneladas de resíduos destinadas ao aterro, 117 toneladas eram resíduos recicláveis que não foram removidos. (Natália Menk, et al).

Os resíduos de serviços de saúde são coletados semanalmente, por empresa especializada, em conformidade com a legislação vigente e devidamente licenciada. Desta forma, a destinação final dos resíduos de serviço de saúde fica sobre a responsabilidade da empresa contratada. (Natália Menk, et al).

Os resíduos colhidos nos serviços de limpeza pública são ensacados e dispostos nas vias, para a coleta diurna pelo caminhão, que os transporta até o aterro sanitário. (Natália Menk, et al).

## **5. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO**

Os itens abordados nesta parte do estudo são aqueles necessários para a caracterização do meio físico, de acordo com o tipo e o porte do empreendimento e segundo as características da região.

### **5.1. ASPECTOS GEOLOGICOS E GEOMORFOLÓGICOS**

O trabalho foi desenvolvido adotando-se uma abordagem regional com integração de informações primárias, obtidas da observação direta, no campo, fotointerpretação de imagem de satélite, dados de ensaios de campo, perfurações de poços e investigações geofísicas sobre a área de intervenção a dados bibliográficos em escalas diversas, para as áreas de geologia, geomorfologia e hidrogeologia.

#### **➤ GEOMORFOLOGIA**

No Estado de São Paulo, Almeida (1964) propôs a subdivisão geomorfológica, que serviu de base para a Carta Geomorfológica do Estado, feita pelo IPT (1981). O autor dividiu

o relevo em províncias, zonas e subzonas. Províncias como o Planalto Atlântico, Província Costeira, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental. A geomorfologia apresenta-se como critérios clássicos da seção geológica do Estado de São Paulo apresentada por Ab'Saber (Figura 4).

A área em apreço situa-se dentro localizam-se nos limites de que em termos geológicos-geomorfológicos são conhecidos como Depressão Periférica (MORAES REGO, 1932 apud ALMEIDA, 1964) na Zona do Médio Tietê. Este domínio é caracterizado pelo predomínio de uma topografia suave, apresentando desníveis que raramente ultrapassam os 200 metros e representada por colinas extensas e restritas, de formas suaves e de baixa amplitude, com esparsos morros testemunhos, morrotes alongados e espigões, dispostos a altitudes de 500-680 m, separados por vales jovens, sem planícies aluviais importantes (Almeida, 1964).

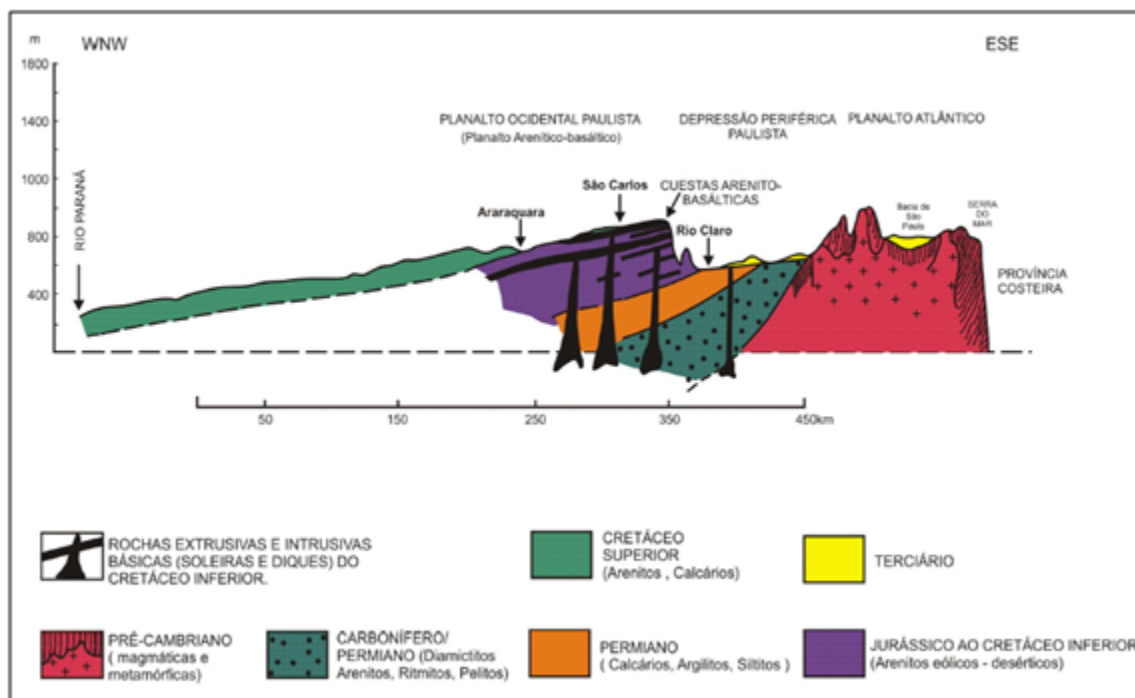


Figura 4 – Seção esquemática do estado de São Paulo. (Adaptado de Ab'Saber, 1957).



➤ **GEOLOGIA REGIONAL**

O contexto geológico da área de estudo é abarcado pela Bacia Sedimentar do Paraná, espalhada por vasta área, que apresenta forma aproximadamente elíptica, situada na porção sudoeste da América do Sul, cujo eixo maior encontra-se em posição norte-sul (Figura 5). Constitui bacia sedimentar de interior cratônico, que recobre cerca de 1.100.000 km<sup>2</sup> do Brasil, estendendo-se também por cerca de mais 300.000 km<sup>2</sup> pelo Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte-noroeste do Uruguai. No Brasil, a bacia compreende os estados do Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), e partes de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais. O registro litológico, envolvendo rochas sedimentares e vulcânicas alcança espessuras máximas de cerca de 6.000 m.

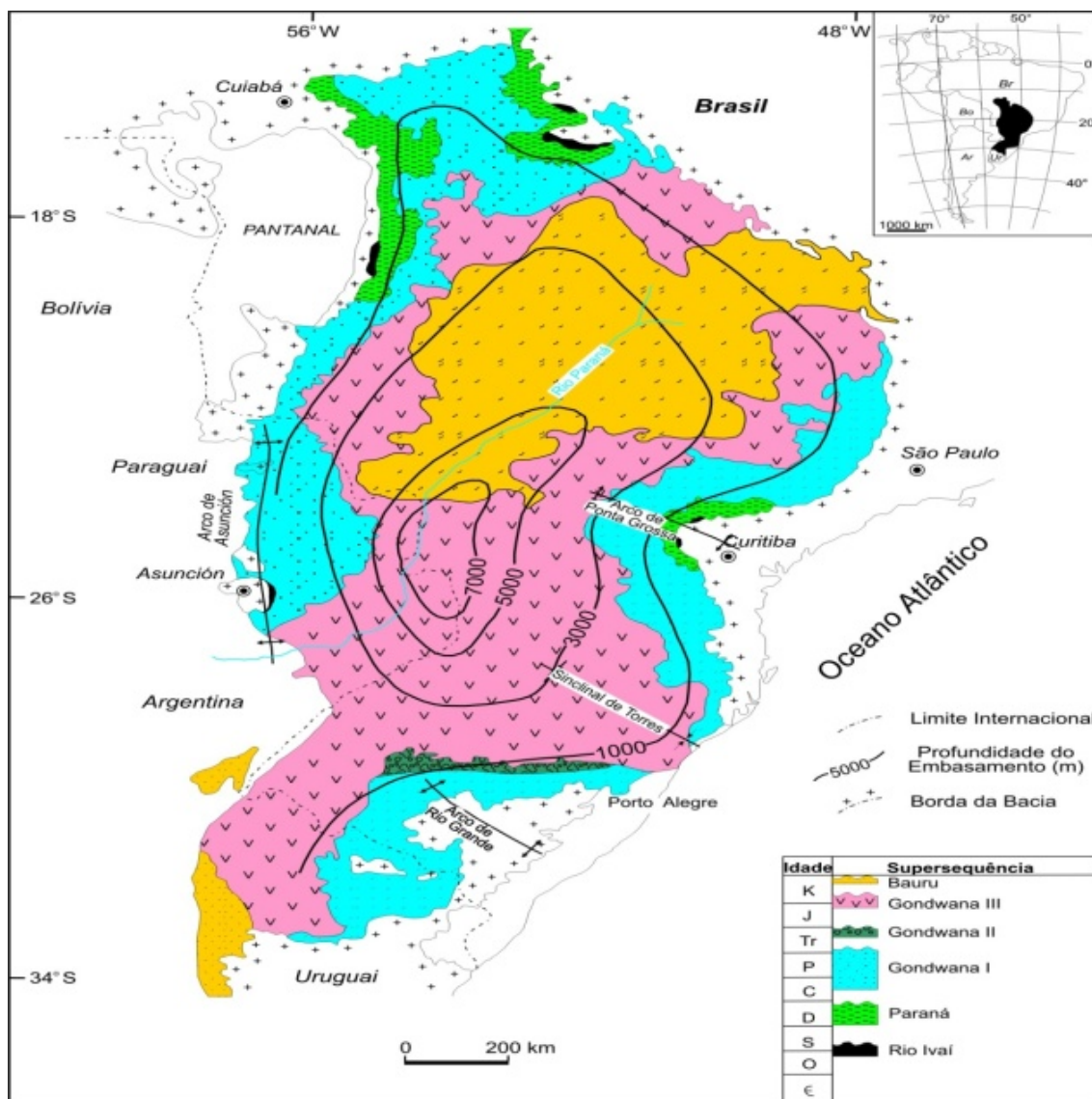


Figura 5 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, e distribuição no tempo das diversas unidades de seu registro estratigráfico. Com a localização da Bacia Sedimentar do Paraná (**negrito**) dentro do mapa da América do Sul (Milani, 1997 apud Milani et al., 2007).

O depocentro coincide aproximadamente com o Rio Paraná, embora o eixo principal de deposição tenha variado durante a história da bacia. O conteúdo litológico da bacia abarca estratos cujas idades variam do Neo-Ordoviciano ao Neocretáceo. O registro, não obstante, é descontínuo, porque subdivide-se em supersequências (sensu Vail et al. 1987) distribuídas descontinuamente por seus 385 Ma de história (segundo estimativa de

Milani 1997). Sendo assim, o registro preservado não ilustra todo esse intervalo cronológico. Grande parcela desse tempo geológico corresponde a lacunas entre as sequências e também a hiatos intrassequências.

A estratigrafia da Bacia do Paraná constitui um dos temas mais estudados na geologia brasileira. O trabalho pioneiro de síntese estratigráfica regional da Bacia do Paraná foi desenvolvido por I. C. White, no início do século XX. No clássico relatório sobre o estudo dos depósitos de carvão do sul do Brasil, White (1908) estabeleceu a primeira coluna estratigráfica da bacia, cujas unidades litoestratigráficas gerais são válidas até os dias de hoje. A bela sucessão pode ser visitada em roteiro geológico disponível na internet (CPRM, s.d.). À exceção dos depósitos pré-devonianos, não conhecidos naquela época, e dos estratos devonianos, não aflorantes nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, a organização estratigráfica proposta por White constitui a espinha dorsal de todas as reavaliações estratigráficas que se sucederam desde então.

Em termos dos ciclos sedimentares de mais alta escala dentro da bacia, são reconhecidas atualmente grandes unidades cronoestratigráficas, que representam espessos pacotes de rochas (com várias centenas de metros de espessuras), cuja deposição envolveu algumas dezenas de milhões de anos de duração. Tais pacotes são limitados entre si por significativas discordâncias, que representam descontinuidades pronunciadas no registro sedimentar durante as quais a bacia esteve submetida a ação erosiva em grande escala.

Os depósitos paleozoicos da Bacia do Paraná estão inseridos nas supersequências Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I, sendo que esta última abrange também, em parte dela, depósitos mesozoicos do Triássico. A Supersequência Rio Ivaí relaciona-se à implantação da Bacia do Paraná, e a geometria de sua área de ocorrência, com depocentros alongados de orientação geral SW-NE, sugere que a mesma foi controlada por algum mecanismo de rifteamento.

Em termos litoestratigráficos, o registro da supersequência é representado pelos Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois, que se depositaram sob altas taxas de subsidência e deslocamento dos centros de deposição. A seção inferior da Supersequência Gondwana I, depositada no Neocarbonífero-Eopermiano, inclui depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé e da Formação Aquidauana. No Grupo Itararé estão representadas, a partir da base, as formações Lagoa Azul (pacote arenoso inferior, sobreposto por folhelhos e diamictitos); Campo Mourão (que corresponde ao pacote arenoso principal do Grupo Itararé) e Taciba (constituída por folhelhos com intercalações arenosas e diamictitos). Na porção nortenoeste da bacia, a seção cronoequivalente aos depósitos do Grupo Itararé é representada pela Formação Aquidauana. Seus depósitos têm características similares àqueles do Grupo Itararé, exibindo coloração vermelha característica. O Grupo Guatá, por sua vez, é representado pelas formações Rio Bonito (arenito associado a carvões, siltito e folhelho, depositados em contexto deltaico, marinho e litorâneo); Palermo (constituída por siltito e siltito arenoso bioturbado, depositados em um ambiente marinho muito raso).

O Grupo Passa Dois, cuja deposição se estendeu do Neopermiano até provavelmente o Triássico inicial, é constituído, a partir da base, pelas formações Irati (faciologia variável, que inclui folhelhos, folhelhos betuminosos, arenitos, margas, carbonato e anidrita, indicativos de uma geometria de bacia complexa em que se configuram golfos e baías de profundidades e salinidades variáveis); Serra Alta (estratos de folhelhos que registram um ciclo regressivo de ampla magnitude); Teresina (constitui-se de argilitos e siltitos cinza-claros, com calcários oolíticos e bancos de coquina, depositados sob ação de ondas e marés); e Formação Rio do Rastro (constituída por arenitos, siltitos e folhelhos arroxeados, esverdeados e avermelhados, cuja deposição é atribuída a um sistema deltaico que avançou na bacia desde a sua borda oeste).

Na Formação Irati são registrados fósseis de répteis mesossaurídeos que integram um horizonte estratigráfico de importância singular no Permiano da Bacia do Paraná. A

distribuição desses fósseis por pacotes de mesma idade na Bacia do Karoo, na região sul do continente africano, representa fato importante na definição do contexto paleogeográfico do Permiano de Gondwana Ocidental, como também serviu, nas primeiras décadas do século XX, como importante reforço à tese da deriva continental. Na concepção estratigráfica baseada em Milani e Zalán (1999), a Formação Piramboia, tida tradicionalmente como triássica em discordância com os depósitos permianos, é indicada em contato concordante com o Grupo Passa Dois. Ressalta-se, no entanto, que tal posição não é consensual na literatura, em função da dificuldade de datação do intervalo.

#### ➤ **GEOLOGIA LOCAL**

##### **Grupo Itararé**

O Grupo Itararé (Figuras 6 e 7) é subdividido nas formações: Campo do Tenente, Aquidauana, Mafra e Rio do Sul, sendo que a Formação Aquidauana ocorre no Mato Grosso, Goiás e Nordeste de São Paulo, as outras foram mapeadas nos Estados de Santa Catarina e Paraná. Em São Paulo, o Grupo ainda permanece sem divisão (Milani et al., 2007).

O Grupo Itararé é caracterizado por uma grande complexidade faciológica, composta por conglomerados, arenitos, diamictitos, ritmitos e folhelhos com clastos caídos de icebergs. A deposição dos sedimentos do Grupo Itararé envolveu paleoambientes deposicionais fluvio-deltáicos a marinhos plataformais e esteve sujeita a influências da glaciação permocarbonífera e da tectônica ativa, refletida em subsidências e soerguimentos em áreas próximas ou dentro da bacia. Durante a deposição do Grupo Itararé, o paleocontinente Gondwana afastava-se do polo Sul, refletindo no clima, que passava de glacial a temperado (Milani et al. 2007).

No Grupo Itararé estão representadas, a partir da base, as formações Lagoa Azul (pacote arenoso inferior, sobreposto por folhelhos e diamictitos); Campo Mourão (que corresponde ao pacote arenoso principal do Grupo Itararé) e Taciba (constituída por

folhelhos com intercalações arenosas e diamictitos). Na porção norte-noroeste da bacia, a seção cronoequivalente aos depósitos do Grupo Itararé é representada pela Formação Aquidauana. Seus depósitos têm características similares àqueles do Grupo Itararé, exibindo coloração vermelha característica.

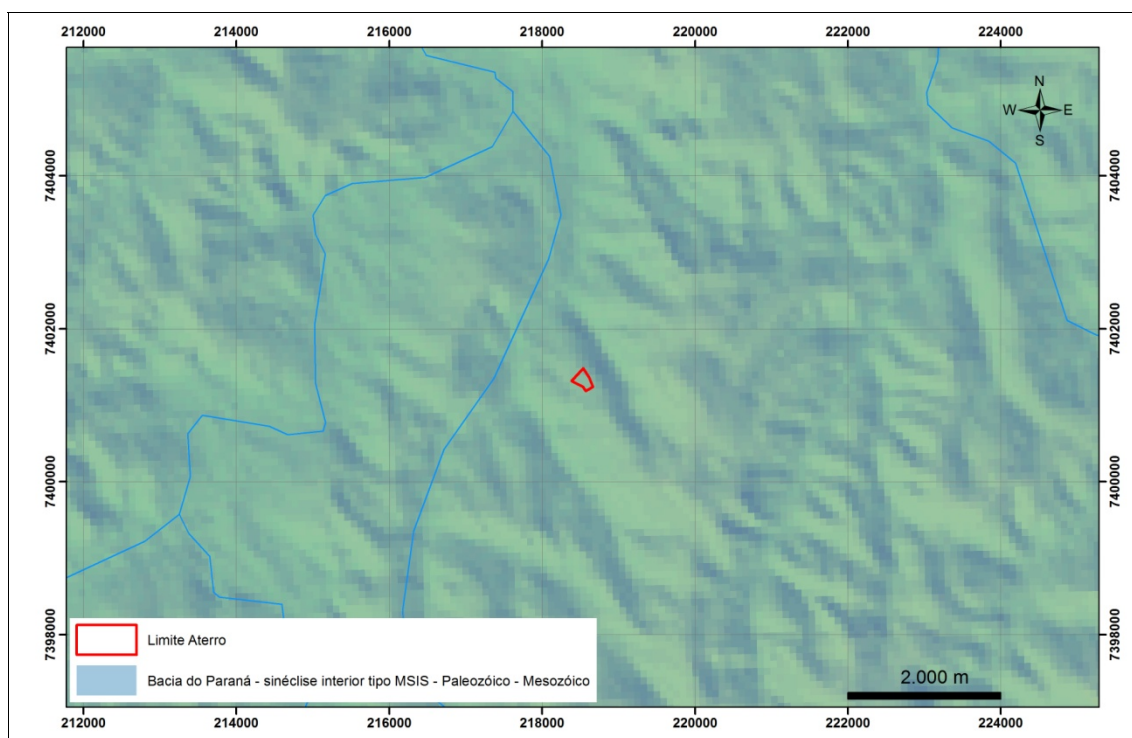


Figura 6 – A área de estudo está localizada no domínio geotectônico da Bacia Sedimentar do Paraná. (CPRM, 2006).

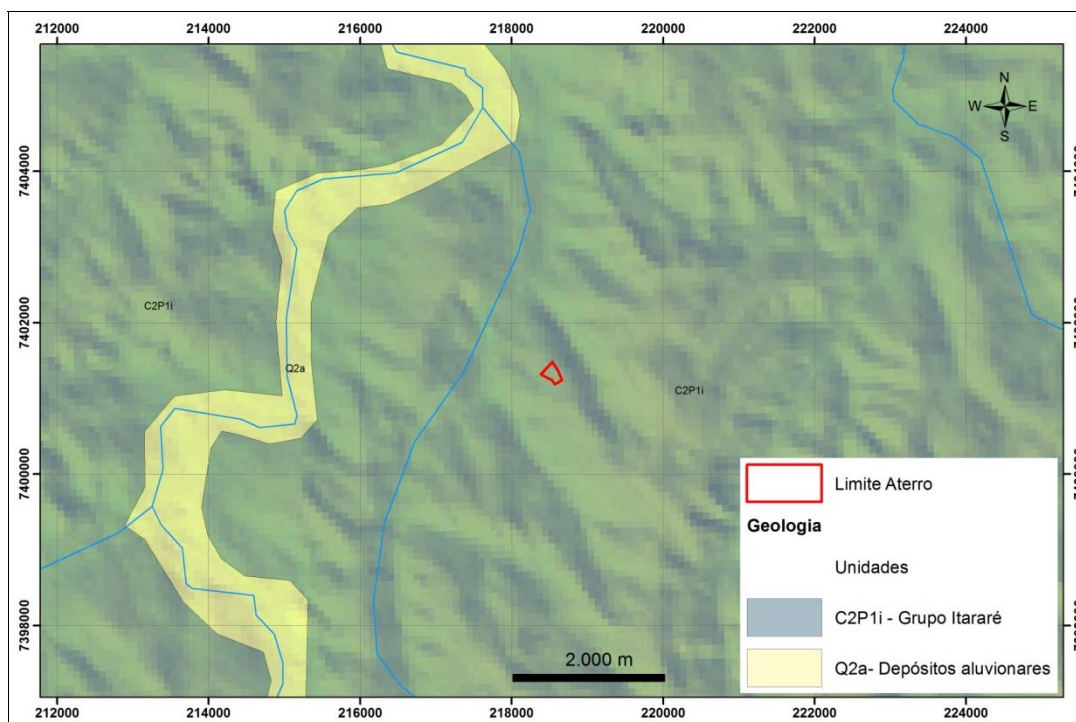


Figura 7 – Mapa geológico regional apresentando o Grupo Itararé e sedimentos inconsolidados do Rio Sarapuí. (CPRM, 2006).

Na área de estudo foram reconhecidos superficialmente solos residuais provenientes da alteração de rochas sedimentares do Grupo Itararé. Este solo residual é composto por argila areno siltosa de coloração avermelhada, fato verificado durante as campanhas de sondagem de reconhecimento ambiental.

Como a área de estudo configura um aterro os sedimentos ali presentes podem não representar a realidade geológica da região. Contudo, durante um mapeamento geológico nos arredores foi verificado que este solo é recorrente por toda a proximidade do empreendimento. Segundo as campanhas de sondagem de reconhecimento ambiental foi verificado que este solo apresenta uma espessura média de aproximadamente 3 metros.

Na área do empreendimento, abaixo deste solo residual há ocorrência de resíduos sólidos, e abaixo deste o solo argilo areno siltoso de coloração avermelhada que foi utilizado

como aterro para instalação do empreendimento. Fora da área onde há o resíduo sólido, na região mais rebaixada as sondagens indicaram que a camada de solo residual é composta por argila arenosa fina de coloração marrom a avermelhada com espessura de aproximadamente 4 metros.

Em seguida, abaixo da camada de solo ocorre um ritmito composto por camadas de argilito intercaladas por camadas de arenito fino de coloração variando entre amarelo e cinza. Esta camada de ritmito é contínua até a profundidade de 20 metros, segundo a campanha investigativa cujo limite do equipamento foi de 20 metros, ou seja, esta camada pode ser mais espessa que o encontrado durante este estudo.

#### ➤ **RECURSOS HÍDRICOS**

Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - (UGRHI 10) é composta pelas bacias hidrográficas dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. A UGRHI 10 está inserida na região centro A UGRHI está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo, abrangendo 54 municípios, dos quais 34 com sede em seu território e 20 possuindo apenas áreas rurais (CBH-SMT & FABH-SMT,2008).

Possui área total de 11.911,953 km<sup>2</sup>, dividida em cinco sub-bacias:

- ✓ Sub-bacia 1 – Médio Tietê Inferior;
- ✓ Sub-bacia 2 – Médio Tietê Médio;
- ✓ Sub- bacia 3 – Baixo Sorocaba;
- ✓ Sub- bacia 4 – Médio Sorocaba;
- ✓ Sub- bacia 5 – Médio Tietê Superior;
- ✓ Sub- bacia 6 – Alto Sorocaba.

A área da UGRHI está situada na sua porção leste sobre rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, geralmente de médio a alto grau metamórfico e complexa



estrutura policíclica. O solo predominante nessa região é o argissolos ou latossolos vermelhos -amarelos. A geologia é constituída por rochas de idades variando desde o Pré-Cambriano até o Cenozóico.

A Bacia é composta pelas unidades estratigráficas do Embasamento Cristalino, Grupo Tubarão (Formações Itararé e Tatuí), Grupo Passa Dois (Formações Irati e Corumbataí), Grupo São Bento (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral), Grupo Bauru (Formação Marília) e Sedimentos Cenozóicos.

A UGRHI10 inserida em um planalto cristalino (atlântico) sucedido pela depressão periférica, sendo esta limitada à oeste pelas cuestas basálticas. Atualmente na bacia a extração de 52 bens minerais distribuídos nas bases de combustível fóssil, fertilizantes, gemas e pedras ornamentais, rochas betuminosas, água, substâncias minerais para construção civil e substâncias minerais industriais (CBH-SMT & FABH-SMT, 2008).

De acordo com o Relatório Zero da UGRHI 10, o clima predominante na bacia se divide em três: clima úmido quente com inverno seco (predominante em quase toda UGRHI 10); clima quente úmido sem estação seca (municípios de Ibiúna e Piedade) e clima temperado úmido sem estação seca (município de São Roque). Conforme mapa de precipitações médias anuais históricas (DAEE 1997) observa-se na UGRHI-10 valores regionais em torno de 1.200mm (CBH-SMT & FABH-SMT, 2008).

A cobertura vegetal na UGRHI – 10 é caracterizada por nove tipos de vegetação: formações Savânicas ou Cerrados e Cerradões; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Ombrófila Densa; Matas Ripária ou Ciliar; Capoeira; Áreas úmidas/Várzeas; reflorestamentos; culturas, campos e pastagens. Atualmente, a mata nativa corresponde apenas a 12,09% da área da UGRHI, sendo que os 87,91% restante é ocupada por coberturas

vegetais produzidas pelo homem (culturas, campos e pastagens), destacando as áreas de pastagens com 67,64% (CBH-SMT & FABH-SMT, 2008).

A UGRIH – 10 caracterizam-se predominante por um perfil urbano, embora em alguns municípios exista uma população rural significativa, como é o caso de Ibiúna e Piedade. A população total estimada é 1.836.750 habitantes (projeção SEADE, 2007), a taxa de crescimento anual (1996-2000) corresponde a 3,09%, sendo maior que a média do Estado de São Paulo que é de 2,07%. O Município de Sorocaba é o mais populoso com mais de 610.000 habitantes (atualmente) seguido por Itu e Botucatu (CETESB, 2008).

A economia é baseada predominantemente na atividade industrial, destacando a indústria alimentícia, metalúrgica e extrativista, sendo Sorocaba o principal pólo industrial da bacia. A agricultura caracteriza-se pelo cultivo de pastos, cana-de-açúcar, milho e hortaliças (CETESB, 2008).

A Bacia drena uma área de 11.829 Km<sup>2</sup>, com uma vazão média de 107 m<sup>3</sup>/s e vazão mínima de 22 m<sup>3</sup>/s. Os principais rios são o Tietê, Sorocaba, Ipanema e Sarapuí. A bacia tem um consumo médio de 17,98 m<sup>3</sup>/s, sendo que a agricultura (irrigação) o maior usuário com 8,35 m<sup>3</sup>/s, seguido pelo uso urbano com 5,27 m<sup>3</sup>/s consumidos e pelo uso industrial com 4,36 m<sup>3</sup>/s consumidos (CETESB, 2008). Em 31% dos municípios da bacia o abastecimento é feito a partir de águas superficiais (rios, córregos ou represas), 22% dos municípios da bacia utilizam exclusivamente águas subterrâneas para o abastecimento público, 28% dos municípios da bacia utilizam sistema misto e 19% dos municípios da bacia há dados (CBH-SMT & FABH-SMT, 2008).

Localmente não apresenta qualquer curso d'água no interior da área de estudo, apenas a uma distancia média de 500 metros de acordo com o IGC.

➤ **HIDROGEOLOGIA REGIONAL**

Os reservatórios de água subterrânea que ocorrem na região foram caracterizados em função de sua distribuição espacial, parâmetros hidráulicos, de modo de circulação da água e condições de armazenamento.

Sendo identificados e considerados os seguintes aquíferos:

- ✓ Sistema Aquífero Cristalino
- ✓ Sistema Aquífero Tubarão
- ✓ Sistema Aquífero Botucatu
- ✓ Sistema Aquífero Basalto
- ✓ Aquífero Passa Dois
- ✓ Aquífero Marília

Em cada um destes sistemas, o armazenamento e a circulação da água ocorrem de modo específico, sendo possível, no entanto, classificá-los de acordo com suas características litológicas em três grupos distintos: meios de porosidade predominante granular (Tubarão, Botucatu e Marília), meios de porosidade de fissuras (Cristalino e Basalto) e porosidade mista, granular e por fissuras (Passa Dois).

**Sistema Aquífero Tubarão**

Este Aquífero situa-se no Grupo Tubarão, subgrupo Itararé. Formação Tatuí e encontra-se cortado em diversos pontos por intrusões de diabásio, que localmente interrompem sua continuidade, sendo ainda recoberto em áreas próximas aos lineamentos de drenagem por camadas de sedimentos Cenozóicos.

O armazenamento e a circulação da água neste Aquífero ocorrem através dos interstícios dos sedimentos clásticos grosseiros (arenitos, conglomerados, diamicticos), que estão intercalados com camadas de sedimentos finos (lamintos, siltidos, folhelhos) dificultando o escoamento da água subterrânea no sentido vertical caracterizando uma

situação de situação de anisotropia com permeabilidade verticais inferiores às horizontais. Há alternância em superfície de sedimentos grosseiros e finos com espessuras variadas, acentuando a heterogeneidade das propriedades deste Sistema Aquífero.

Nesta bacia este aquífero é livre (freático). O substrato do aquífero tubarão é constituído pelas rochas Pré-Cambrianas do Aquífero Cristalino e à medida que avança para noroeste, passa a ser confinado pela seqüência do Grupo Passa Dois, que por sua vez fica freático neste local.

Em âmbito regional, este aquífero comporta-se como um reservatório subterrâneo de produtividade bastante limitada, contendo áreas localizadas com potenciais mais elevados. Análises de produtividade de poços em relação à profundidade indicaram melhores valores de capacidade específica por metro perfurado no intervalo de profundidade menor que 100m, comparativamente aos de 100-150m e > 150m. Assim, ao aprofundamento de poços no Tubarão, em relação a uma melhora de produtividade, é pouca efetiva quando estes já são superiores a 100m, o que contraria a tradição de perfuradores da região.

Para maior conhecimento do aquífero local será realizado através da abertura dos poços de monitoramento e sondagens de reconhecimento ambiental juntamente a topografia determinar o potencial hidráulico e posteriormente a elaboração do mapa potenciométrico local, além dos ensaios de condutividade hidráulica.

## 6. INSPEÇÃO E VISTORIA

A vistoria técnica consistiu no levantamento de informações sobre a disposição final de resíduos e métodos de operação do aterro, realizada em 24/02/2014 também contou com a execução do levantamento topográfico e o levantamento geofísico. As figuras a seguir apresentam a localização do empreendimento.

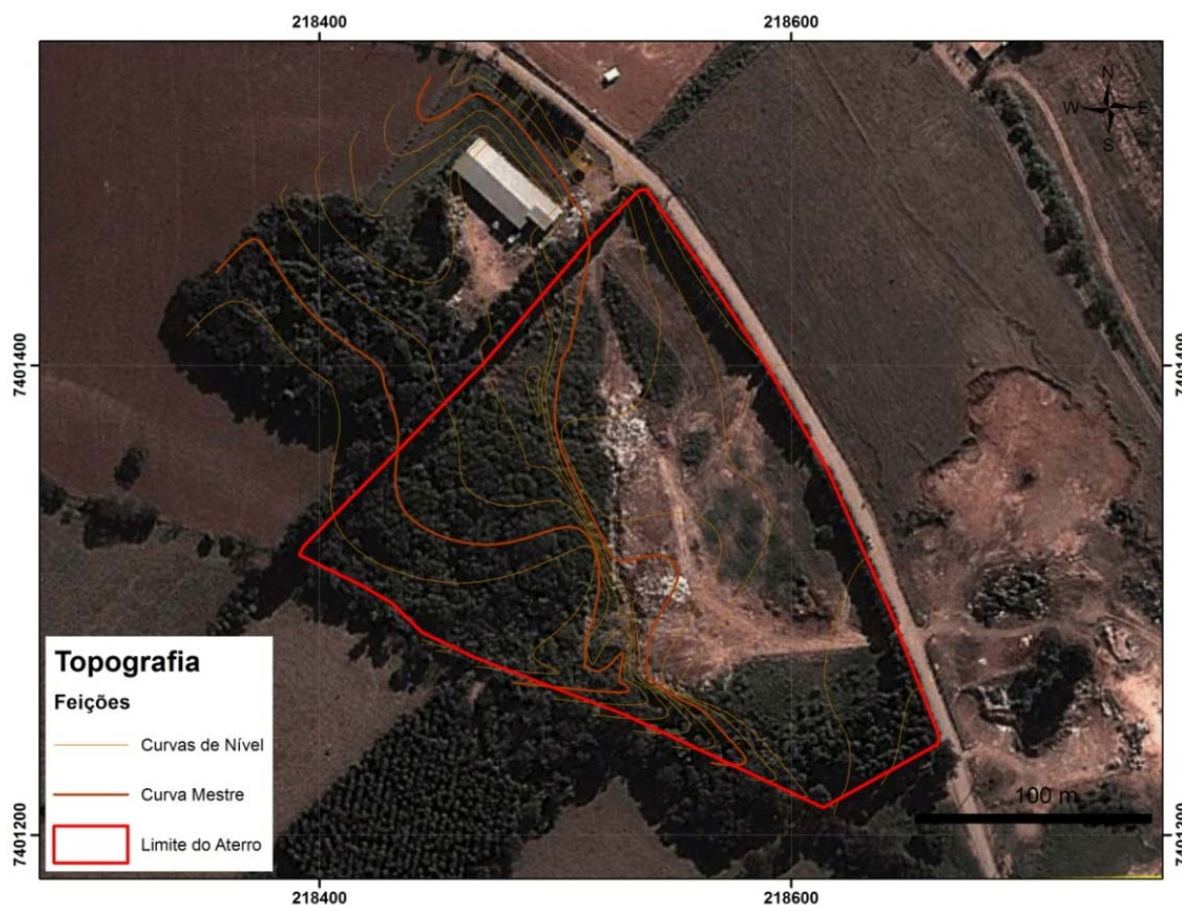


Figura 8 – Layout do empreendimento com a topografia.

### 6.1. USO E OCUPAÇÃO

No entorno não há nenhum histórico de áreas contaminadas cadastradas segundo relação municipal da CETESB ate dezembro de 2012, tão pouco poços profundos de abastecimento cadastrados. O local classificado como zona rural, possui em suas mediações áreas com movimentações de terra, moradores rurais (sítios e chácaras), pastagem,

agricultura e bairro residencial, o mapa a seguir apresenta localização e raio de 500 metros do limite do aterro.



Figura 9 – Uso e ocupação do empreendimento (raio de 500 m) – centro área do aterro (vermelho) ao norte encontra-se o bairro residencial (azul), movimentação de terra (laranja) e demais áreas ao entorno com pastagem e agricultura (amarela).

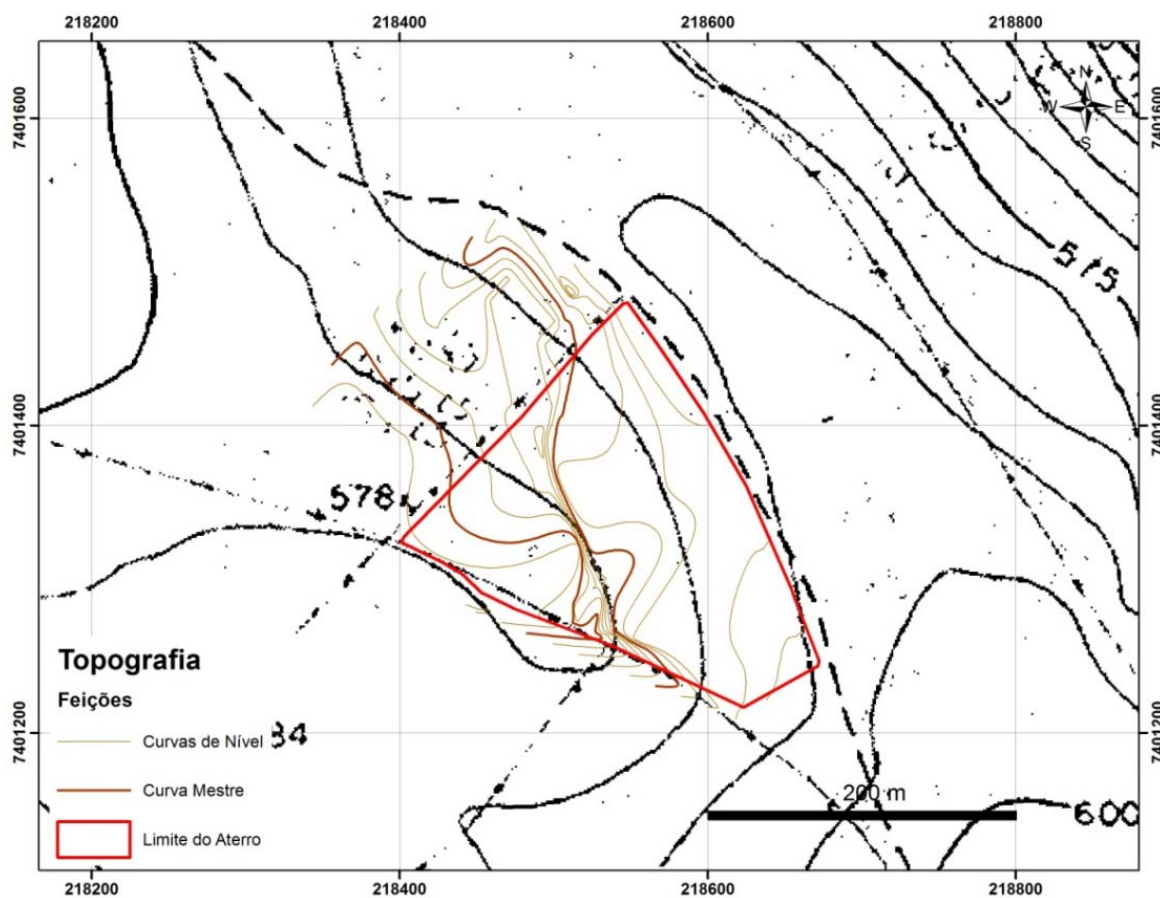


Figura 10 – Situação do aterro entre a topografia atual e carta do IGC.

De acordo com o mapa IGC, ao centro apresentam as cotas 585 e 580, comparados com a topografia realizada, cotas 580 e 575, fica evidente que a operação de aterro “vazadoiro” de resíduos acarretou certa reconformação do relevo original da área. Detalhe para não existência de cursos hídricos.

## **6.2. OPERAÇÃO E DESCARTES DE RESÍDUOS**

De acordo com entrevistas e questionamentos sobre a operação do Lixão durante sua vida útil, demonstrou sua maior proporção para resíduos sólidos urbanos com disposição final através de valas e até bags, sendo envelopados os resíduos. Também descartados resíduos provenientes de podas e varrição conforme encontrados durante vistoria para reconformação final do terreno, além da detecção pontualmente de vestígios de resíduos do serviço de saúde.

Ressaltamos a falta de controle diário e mensurado quaisquer quantitativos referentes à recepção de resíduos durante sua vida útil. Sendo consideradas uma média 420 toneladas por mês provenientes da coleta de resíduos sólidos urbanos do município de Capela do Alto.

## **7. GEOFÍSICA**

Na área do aterro de resíduos foram realizadas campanhas de investigações indiretas de subsuperfície através técnicas de geofísica pelos métodos de caminhamento elétrico (CE) e sondagem elétrica vertical (SEV), e foram dispostas segundo o que se apresenta na Figura abaixo.



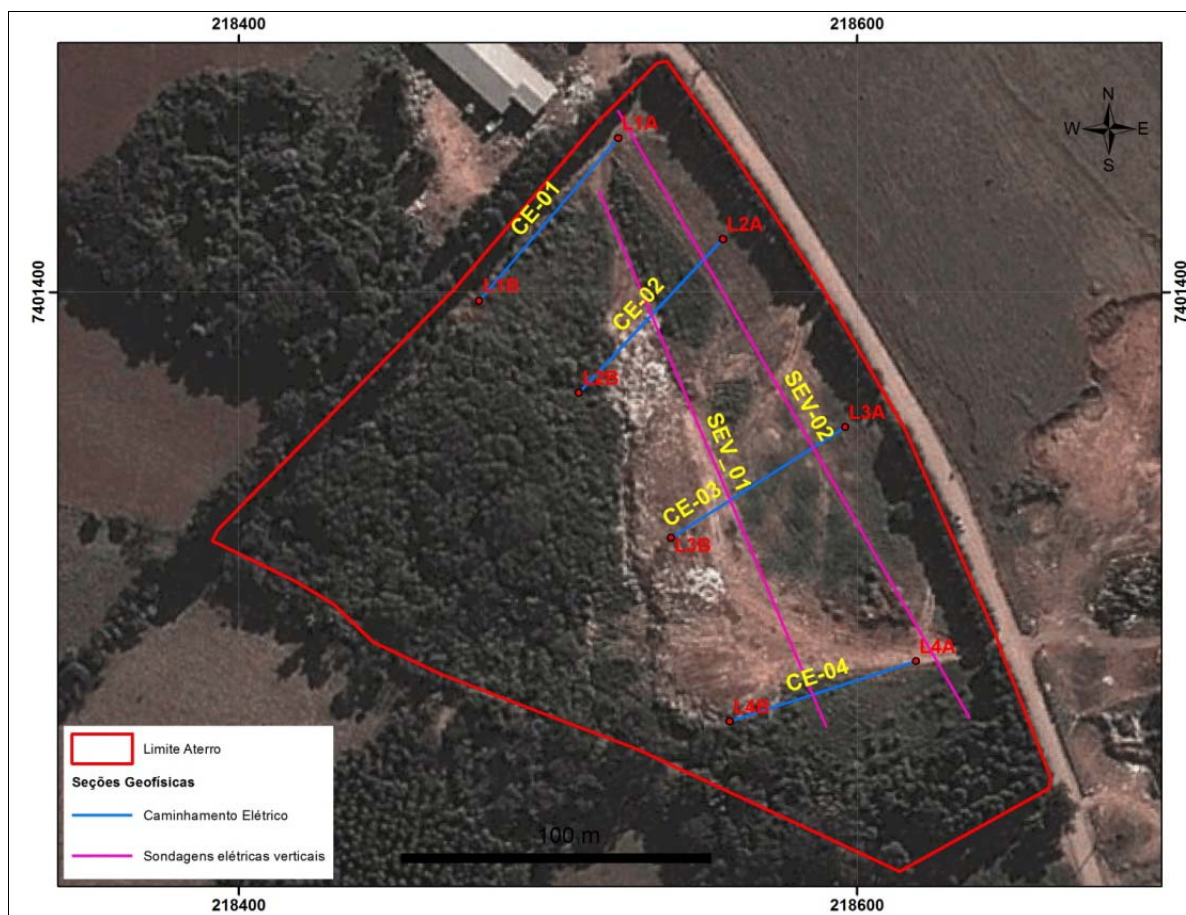


Figura 11 – Mapa de localização dos ensaios geofísicos na área de estudo.

## Métodos Geométricos

### *Sondagem Elétrica Vertical - Arranjo Schlumberger*

A técnica da sondagem elétrica vertical consiste, basicamente, na análise e interpretação da resistividade aparente, obtida a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando sua variação em profundidade.

No arranjo de campo mais utilizado nas SEVs, colocam-se quatro eletrodos na superfície do terreno, disposto simetricamente em relação ao centro “o” e sobre uma mesma linha reta, como indicado na figura abaixo. O arranjo Schlumberger é muito rápido, sendo necessário, praticamente, o deslocamento de apenas dois pares de eletrodos, do que

decorrem leituras relativamente livres de ruídos parasitários. Neste tipo de arranjo o coeficiente geométrico K é obtido pela equação (1):

$$K = \pi(|AM| \cdot |AN|) / |MN| \quad (1)$$

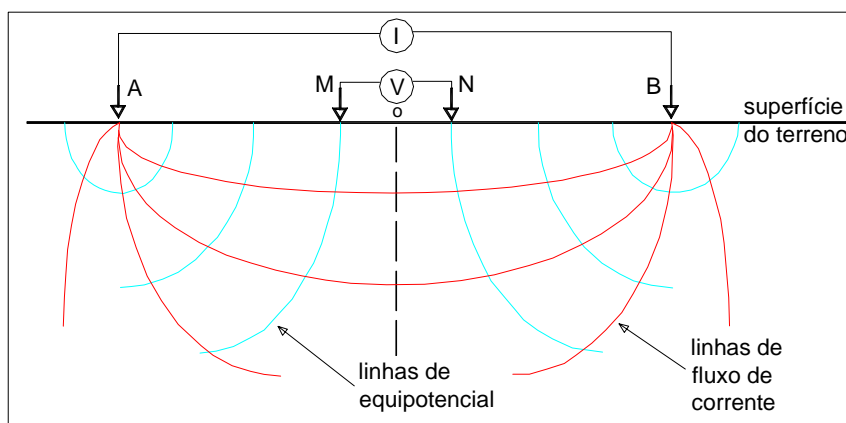


Figura 12 - Esquema de campo para a aquisição de uma SEV através do arranjo Schlumberger, indicando a posição dos eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) e a distribuição em subsuperfície das linhas de corrente e de equipotencial (Malagutti et al. 1999, in Elis et al. 2004)

Os resultados obtidos no campo são dispostos em um gráfico bi-logarítmico, no qual são representados nos eixos das abscissas a distância em metros ( $AB/2$ ), e no eixo das ordenadas os valores da resistividade aparente ( $\rho_a$ ). O software de domínio público IPI2Win é utilizado na inversão e modelamento dos dados resistivimétricos das SEVs, o qual fornece o número de camadas e suas resistividades verdadeiras, cabendo ao geólogo interpretar suas relações com o meio físico investigado.

### **Arranjo Dipolo-Dipolo (Imageamento Elétrico 2-D)**

Na prática dos levantamentos de imageamento elétrico 2-D, denomina-se geralmente a fonte de corrente como circuito transmissor, ou simplesmente transmissor, e os circuitos relacionados com os eletrodos de potencial como receptor. O arranjo eletródico

normalmente utilizado neste tipo de levantamento é o dipolo-dipolo, onde a separação entre os eletrodos de corrente (AB) é a mesma dos eletrodos de potencial (MN), e a distância entre seus pontos médios é um múltiplo deste espaçamento.

Os caminhamentos elétricos são usualmente feitos ao longo de linhas ou perfis. O procedimento mais comum é posicionar os eletrodos de corrente (AB) no início da linha. As leituras são feitas através de pares sucessivos de eletrodos de potencial (MN), igualmente espaçados. O transmissor (AB) é então deslocado para a próxima posição, na mesma linha, e o procedimento é então repetido. Tal procedimento é ilustrado a seguir.

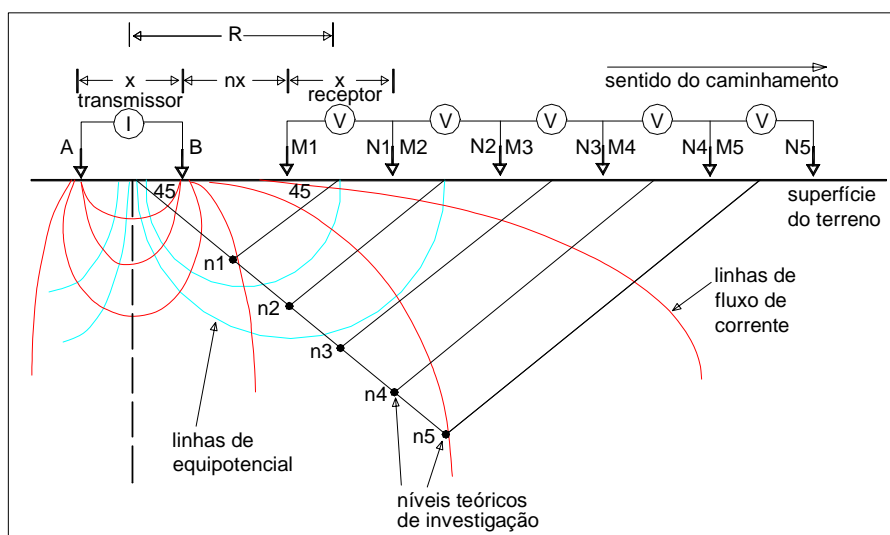


Figura 13 - Esquema de campo para o caminhamento elétrico através do arranjo dipolo-dipolo, indicando a posição dos eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN), níveis teóricos de investigação e a distribuição em subsuperfície das linhas de corrente e de equipotencial. (Malagutti et al. 1999, in Elis et al. 2004)

## 8. AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS.

Os dados de eletrorresistividade obtidos na área do aterro de Capela do Alto foram adquiridos através de dois tipos de arranjos eletródicos, a saber: Dipolo-Dipolo e Schlumberger. Para o primeiro é aplicada a técnica do caminhamento elétrico, também

conhecido como imageamento elétrico 2-D ou tomografia elétrica, enquanto para o segundo a técnica é conhecida como sondagem elétrica vertical ou, simplesmente SEV.

Os equipamentos utilizados são compostos por um módulo, que perfaz a transmissão de corrente alimentado por baterias e receptor designado eletrorresistivímetro, ambos da marca GeoMedida. O eletrorresistivímetro é conectado aos eletrodos de corrente A e B, enquanto o sistema de recepção é acoplado a outros eletrodos chamados de potencial M e N.

#### **Arranjo Dipolo-Dipolo**

Este tipo de arranjo foi empregado com o objetivo de mapear variações laterais e verticais de resistividade ao longo de três linhas denominadas CE-01, CE-02, CE-03 e CE-04 correspondentes às figuras 14, 15, 16 e 17, respectivamente. As linhas foram locadas no terreno de acordo com estudos prévios e totalizaram 440 metros lineares de levantamento dipolo-dipolo. Em todas as linhas foi empregado espaçamento entre os eletrodos de corrente e de potencial de 10 metros, ou seja,  $AB=MN=10m$  com 8 níveis teóricos de investigação em profundidade nas pseudoseções aparentes. A Tabela 1 foi elaborada para sintetizar os quantitativos.

**Tabela 1 – Síntese da localização e comprimento do caminhamento elétrico (dipolo-dipolo).**

<b>Linhas dip-dip.</b>	<b>Comp. (m)</b>	<b>Coordenadas UTM do início e do final</b>	<b>N. Figura</b>
<b>CE-01</b>	110	218533x7401484 a 218489x7401432	4
<b>CE-02</b>	110	218568x7401451 a 218521x7401401	5
<b>CE-03</b>	110	218607x7401390 a 218550x7401354	6
<b>CE-04</b>	110	218630x7401314 a 218570x7401295	7

A linha de Caminhamento Elétrico foi processada no software RES2DINV, apresentada sob a forma de seção distância x profundidade denominado modelo de inversão, gerado a partir dos dados medidos em campo

Os resultados descritivos das linhas serão discutidos e apresentados sob a forma de pseudoseções aparentes e seções verdadeiras de profundidade obtidas por inversão:

**Caminhamento Elétrico CE-01:** A seção de resistividade verdadeira ou real reflete camadas horizontalizadas e menos resistivas até a profundidade de aproximadamente 9 metros, o que pode indicar a presença da sucessão de camadas de resíduos e de sedimentos utilizados para recobrimento destes. Abaixo dos 9 metros, foi detectada uma camada bastante resistiva que provavelmente faça referência a uma camada de sedimentos argilosos litificados, reconhecidos quando da campanha de sondagem. As camadas superficiais foram designadas de cobertura condutiva e as mais profundas de embasamento resistivo.

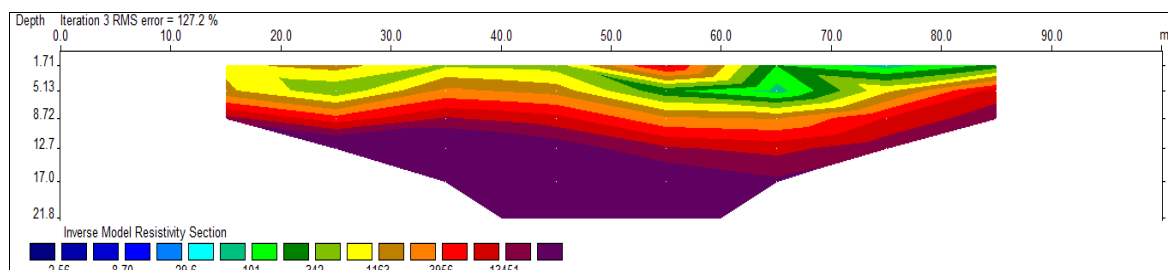


Figura 14 – Pseudo-seção referente ao caminhamento elétrico CE-01.

**Caminhamento Elétrico CE-02:** A seção CE-02 foi executada na porção centro norte do maciço de resíduos. Através da interpretação dos resultados observa-se que no início da pseudo-seção (porção nordeste do maciço), encontram-se camadas menos resistivas, que provavelmente dizem respeito ao pacote sedimentar superficial encontrado nas campanhas de sondagem, com alternância de camadas de resíduos. Estas camadas menos resistivas apresentam continuidade lateral, de acordo com a pseudo seção gerada, reforçando a hipótese de se tratar de solo para recobrimento do maciço de resíduo. Na porção central da pseudo-seção é observada uma porção mais resistiva, que pode dizer respeito ao pacote

argiloso litificado encontrado abaixo das camadas de resíduos, que ocorre abaixo dos 9 metros de profundidade.

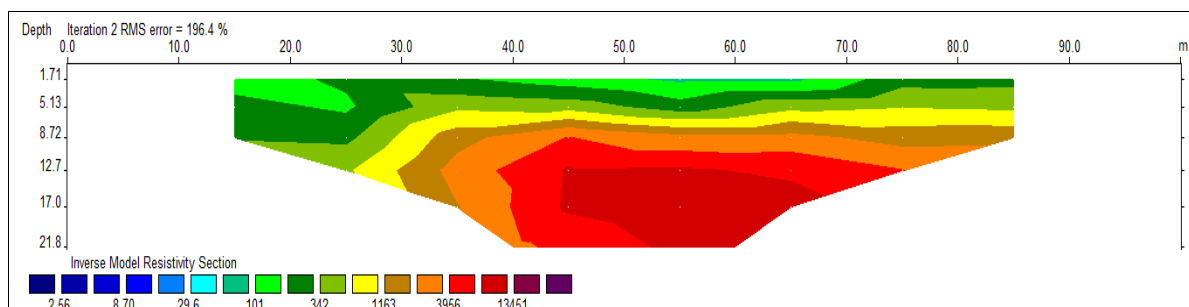


Figura 15 - Pseudo-seção referente ao caminhamento elétrico CE-02.

**Caminhamento elétrico CE-03** – A seção CE-03 foi executada na porção centro sul do maciço de resíduos. Através da interpretação dos resultados observa-se na porção superior da seção ocorrem camadas menos resistivas até a profundidade de 5 metros, que pode configurar uma sucessão de camadas de sedimentos e resíduos. Na porção central desta pseudo-seção camadas muito resistivas estão presentes podendo fazer referência ao maciço de resíduos, que se estende até a profundidade de aproximadamente 20 metros e, abaixo ocorrem camadas menos resistivas novamente, podendo fazer alusão aos sedimentos que perfazem o substrato da região.

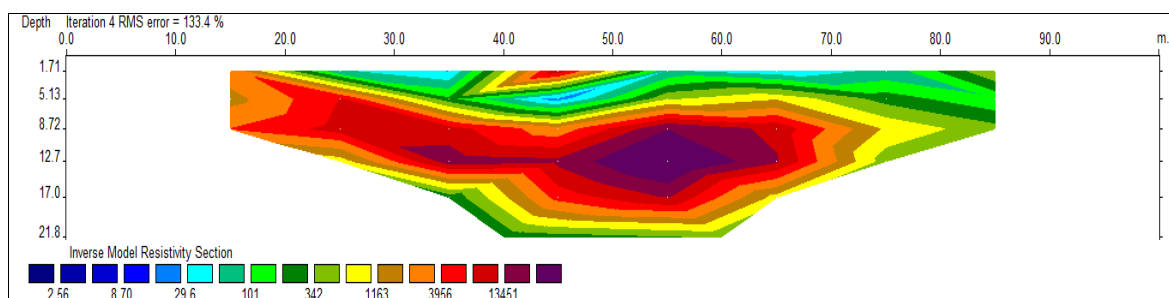


Figura 16 - Pseudo-seção referente ao caminhamento elétrico CE-03.

**Caminhamento elétrico CE-04** – A pseudo-seção CE-04 foi executada na porção sul da área do vazadouro de resíduos. Na porção inicial da pseudo-seção observam-se camadas mais condutivas até uma profundidade de 8 metros. Na porção central, as camadas mais condutivas podem se referir a presença de chorume no maciço. Abaixo destas camadas

ocorrem camadas mais resistivas que podem dizer respeito ao pacote argiloso que compõe o substrato da região.

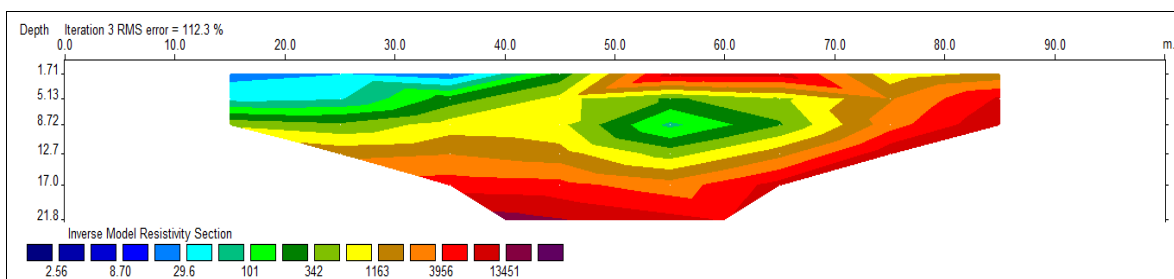


Figura 17 - Pseudo-seção referente ao caminhamento elétrico CE-04.



Figura 18 – Eletrorresistivímetro utilizado para o caminhamento elétrico.

### Sondagens Elétricas Verticais - Arranjo Schlumberger

Este tipo de arranjo foi empregado como o objetivo de investigar a coluna geoeétrica, visando determinar as camadas pedo-litológicas e seu grau de saturação através de um modelo geoeétrico refinado pelo software de inversão IX1D.

Foram adquiridas 03 sondagens elétricas verticais distribuídas ao longo do eixo da drenagem na área, de acordo a Figura 11. Os resultados são apresentados sob a forma de gráficos e tabelas anexos a este relatório. Os gráficos expressam no eixo das abscissas a distância  $AB/2$  em metros e no eixo das ordenadas a resistividade aparente  $\rho_a$  em  $\Omega.m$ . Sobre os dados de resistividade obtidos no campo são ajustados modelos de inversão, os quais tentam se aproximar ao máximo do dado adquirido, fornecendo as camadas geolétricas.



Figura 19 – Execução do método de sondagem elétrica vertical – SEV na área de estudo do vazadouro de resíduos.

A interpretação das camadas geolétricas deve ser respaldada pelo conhecimento geológico prévio, o que dá credibilidade ao parâmetro físico medido. A resistividade aparente representa um fenômeno regionalizado e, portanto dependente de outras variáveis e parâmetros que atuam dentro do sistema geológico amostrado pela técnica. Normalmente devem ser utilizados dados diretos obtidos por sondagens mecânicas com o objetivo de parametrizar as SEVs. Neste sentido foram utilizados dados de 5 sondagens de



reconhecimento ambiental, além de estudos bibliográficos (Braga & Malagutti Filho, 1997; Braga et al, 1999; Moura & Malagutti Filho, 2001; Oliva & Kiang, 2004).

As camadas geoeletricas são caracterizadas por números que expressam a realidade física do parâmetro medido da resistividade aparente no momento da aquisição dos dados. O intérprete deve levar em consideração, além das limitações da geofísica que é uma informação indireta, os parâmetros não controlados como composição do solo, grau de saturação, constituintes minerais, grau de fraturamento, alternância e tipos litológicos, os quais vão influenciar na morfologia e na interpretação das camadas geoeletricas.

Esses comentários generalizados vão apoiar a caracterização da morfologia e a interpretação final da resposta das SEVs de acordo com a realidade geológica encontrada na área. A seguir serão feitos comentários descritivos das SEVs, cujos gráficos estão mostrados a seguir:

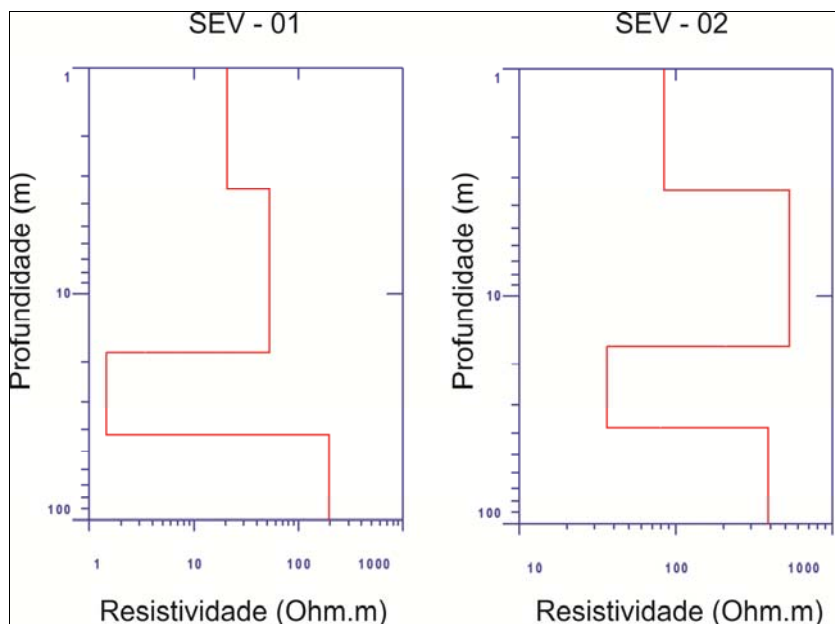


Figura 20 – Gráficos das SEVs realizadas.

As duas sondagens elétricas verticais (SEV's) foram realizadas ao longo do maior eixo da área de estudo, com o objetivo de se identificar camadas mais resistivas e condutivas, para delimitar o maciço de resíduos e também o nível de água. Ambos os ensaios foram executados paralelamente, sendo que a SEV-01 foi realizada numa cota superior ao da SEV-02.

Os ensaios das SEV's, expostos na Figura 20, mostram que até a profundidade de aproximadamente 3 a 4 metros ocorre uma camada de resistividade entre 11.000 e 12.000 Ohm.m, podendo ser considerado esta camada como uma alternância de solo de aterro mais resíduos. Abaixo desta camada, até a profundidade de aproximadamente 10 metros, ambos os gráficos exibem um aumento na resistividade, o que pode indicar a presença do maciço de lixo. Em seguida, em maior profundidade, na faixa entre 11 a 17 metros, a resistividade torna-se muito baixa, podendo indicar o nível de água. Na camada mais inferior, com profundidades que superam os 20 metros, a resistividade torna-se alta novamente, o que pode ser inferido como a camada de argilito cinza, identificado durante as campanhas de sondagens também realizadas na área.

## **9. RESULTADOS DA GEOFISICA**

A aplicação conjunta dos arranjos geoeletricos empregados neste trabalho revelou-se satisfatório diante do objeto de estudo que é a definição da assinatura geofísica da área de estudo. A expectativa das informações aqui obtidas foi no sentido de agregar mais conhecimentos para o entendimento melhor dos compartimentos geológico-estruturais da área estudada, além de constituir acervo sobre o meio em foco, o qual servirá para um futuro monitoramento de eventuais vazamentos de plumas contaminantes, pois as assinaturas geofísicas também serão alteradas.

O arranjo dipolo-dipolo permitiu uma investigação horizontal mais detalhada, enquanto as SEVs avaliaram mais a estratificação vertical. Neste sentido, o primeiro arranjo é mais sensível na identificação de descontinuidades geoeletricas e dos contrastes laterais e verticais amostrados pelo método geofísico, os quais podem corresponder a zonas de falha e/ou fraturas e estratos de solos arenosos, siltosos e argilosos da parte da cobertura. A principal contribuição do arranjo dipolo-dipolo foi a identificação de horizontes resistivos e condutivos. Os resistivos podem corresponder a solos e rochas compactos e maciços, enquanto os condutivos devem ser resposta de solos saturados, ou rocha sã fraturada com percolação de água.

As SEVs permitiram separar em camadas geoeletricas quando a análise é individual e quando a análise é integrada correlacionar os valores resistivimétricos e a morfologia das SEVs agrupadas em conjunto. As SEVs identificaram as camadas superficiais que geralmente são mais resistivas nos primeiros centímetros, caracterizando um solo compacto e não saturado, invertendo esta condição em profundidade até alcançar os horizontes saturados e novamente os estratos mais resistivos, corroborando com os caminhamentos elétricos.

Finalmente, sugere-se que os resultados aqui obtidos sejam confrontados com outras informações derivadas de técnicas diretas, retroalimentados e redirecionados no entendimento melhor da geologia e geotecnia da área pesquisada pela técnica geofísica indireta.

## 10. TOPOGRAFIA

Efetuamos concomitantemente o levantamento topográfico da área, adotando-se coordenadas geodésicas e curvas de nível de metro em metro, cuja cópia encontra-se no anexo deste relatório.



Figura 21 – Utilização do GPS Geodésico para realização do levantamento planialtimétrico cadastral.

Sobre a topografia foram locadas as sondagens necessárias para se traçar o perfil do solo, onde deverá ser denotado o início da camada de lixo e o início do solo natural, fornecendo dados quantitativos de lixo no local, também nivelados os pontos de aberturas dos poços de monitoramento de água subterrânea e medições de gases.

Os trabalhos prosseguiram com a locação dos furos de sondagem demarcados com a cravação de um piquete de madeira, devidamente identificado, servindo de referência de nível para a execução da sondagem e posterior determinação de cota através de nivelamento topográfico.

O nivelamento topográfico serviu para determinação da carga hidráulica nos poços de monitoramento visando a caracterização hidrogeológica no local.



Figura 22 – Utilização de Estação Total para nivelamento topográfico.

Para continuidade dos serviços com a locação da malha de screening e sondagem de reconhecimento foram locadas as sondagens necessárias para se traçar o perfil do solo, onde deverá ser denotado o início da camada de lixo e o início do solo natural, fornecendo dados quantitativos de lixo no local.

## **11. SONDAGEM DE RECONHECIMENTO AMBIENTAL**

Para desenvolvimento do projeto conceitual da área no período de 01 a 04 de abril de 2014, foram executadas sondagens de reconhecimento ambiental servindo para definição dos procedimentos a serem adotados para execução da investigação confirmatória.

Os serviços de reconhecimento do maciço de resíduos foram iniciados com a aplicação da sondagem através do trado manual, distribuídos ao longo da área para determinação da camada de resíduos no local.

A perfuração a trado manual é realizada através da introdução e rotação manual do conjunto acoplado às hastes de curta extensão. O trado é então retirado do furo e a amostra deformada do solo é retirada com uma ferramenta apropriada.

O processo é repetido até que a profundidade requerida seja atingida ou não haja mais recuperação do material perfurado. Hastes são adicionadas e presas ao trado conforme a perfuração prossegue. O sucesso da perfuração a trado manual depende da manutenção do furo aberto. Normalmente há o desmoronamento das paredes do furo quando a perfuração é executada em solo saturado. Portanto, a perfuração a trado pode ser limitada em solos saturados.

As perfurações com trados manuais permitem a observação do perfil de subsuperfície e a coleta das amostras em profundidades preestabelecidas. Para este uso o trado foi utilizado para verificação e determinação da massa de resíduos no solo, sendo realizado em 30 (trinta) furos de sondagem.



Figura 23 – Início dos serviços de sondagem de reconhecimento no local.



Figura 24 – Execução dos serviços de sondagem a trado para reconhecimento do maciço de resíduos.

## 12. RESULTADOS DA RELEVANCIA DE RESÍDUOS

O volume de resíduos foi calculado através das coordenadas dos pontos adicionados a profundidade do maciço, com a utilização do software TopoEVN possibilitou o cálculo do volume em m<sup>3</sup> e a geração do modelo digital 3D. A seguir visualização do modelo e volume gerado.

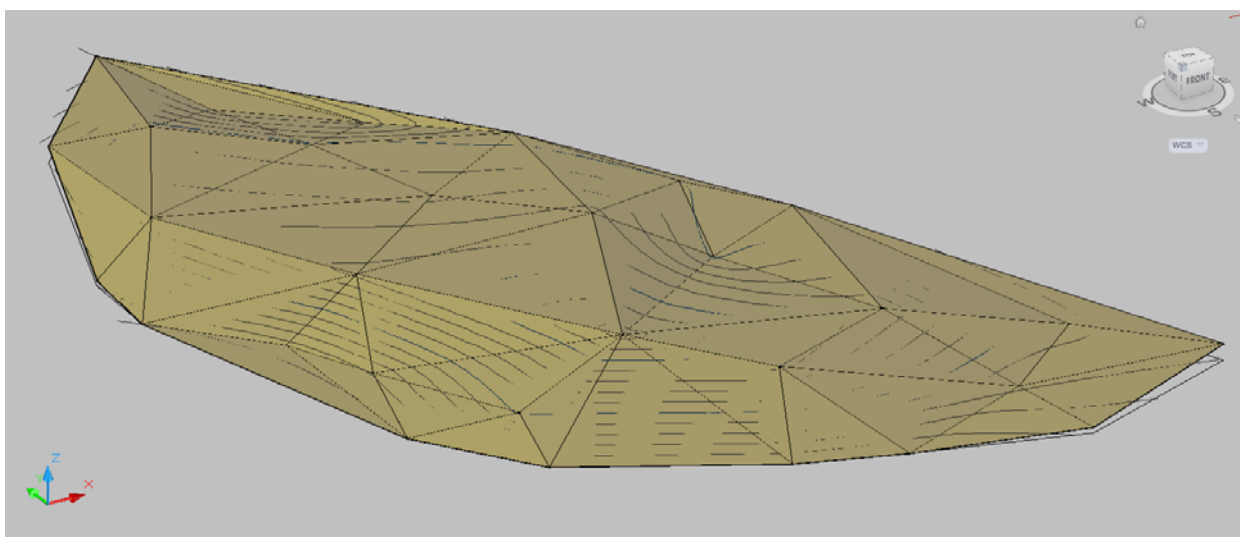


Figura 25 – Visualiza-se o modelo digital do maciço de resíduos gerados através da cubagem.

A espessura média de resíduo varia entre 0,60 e 9,35 metros, sob uma área de aproximadamente 21.772,0 m<sup>2</sup>. Pelos resultados obtidos, o volume provável total é de 129.148,40 m<sup>3</sup> de resíduos na área investigada. Vale ressaltar que foi observado em um único maciço de resíduo.

Vale ressaltar que esta reserva poderá sofrer modificações devido à limitação da malha de sondagem ao centro da área e nos locais com alta resistividade observada na geofísica, sendo que nestes locais poderá sofrer prováveis variações em sua volumetria.



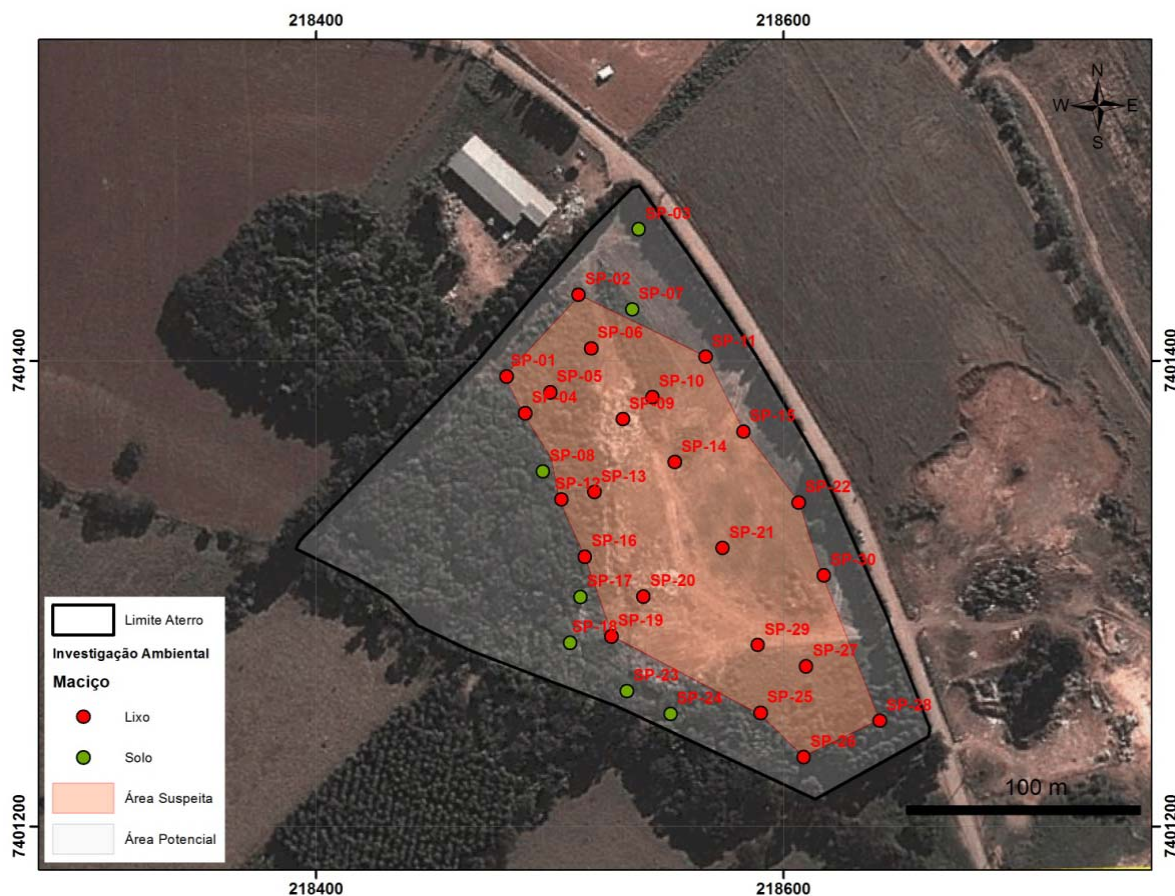


Figura 26 – Mapa de situação do antigo lixão. Os locais suspeitos encontram ao centro da área na concentração de resíduos sólidos.

Os pontos em vermelho delimitam o maciço de resíduos determinado pelas sondagens de reconhecimento. Estes pontos vermelhos e verdes correspondem a 30 (trinta) furos de sondagem de reconhecimento ambiental conforme ABNT NBR 15492/2007: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento, realizado no período de 01 a 04 de abril de 2014. Ressaltamos que os pontos em verdes não atingiram qualquer resíduos até a profundidade de 3,0 metros.

### 13. MODELO CONCEITUAL

Através dessa avaliação permitiu a elaboração de um modelo conceitual inicial visando uma identificação dos seus cenários no meio físico através das vias de ingresso pelos caminhos de exposição, sendo adotados como meios de exposição ar, solo e águas. A presença de receptores é caracterizada por trabalhadores adultos no empreendimento e no entorno da área, O fluxograma a seguir apresenta a definição do modelo de acordo com as informações obtidas nessa avaliação preliminar.

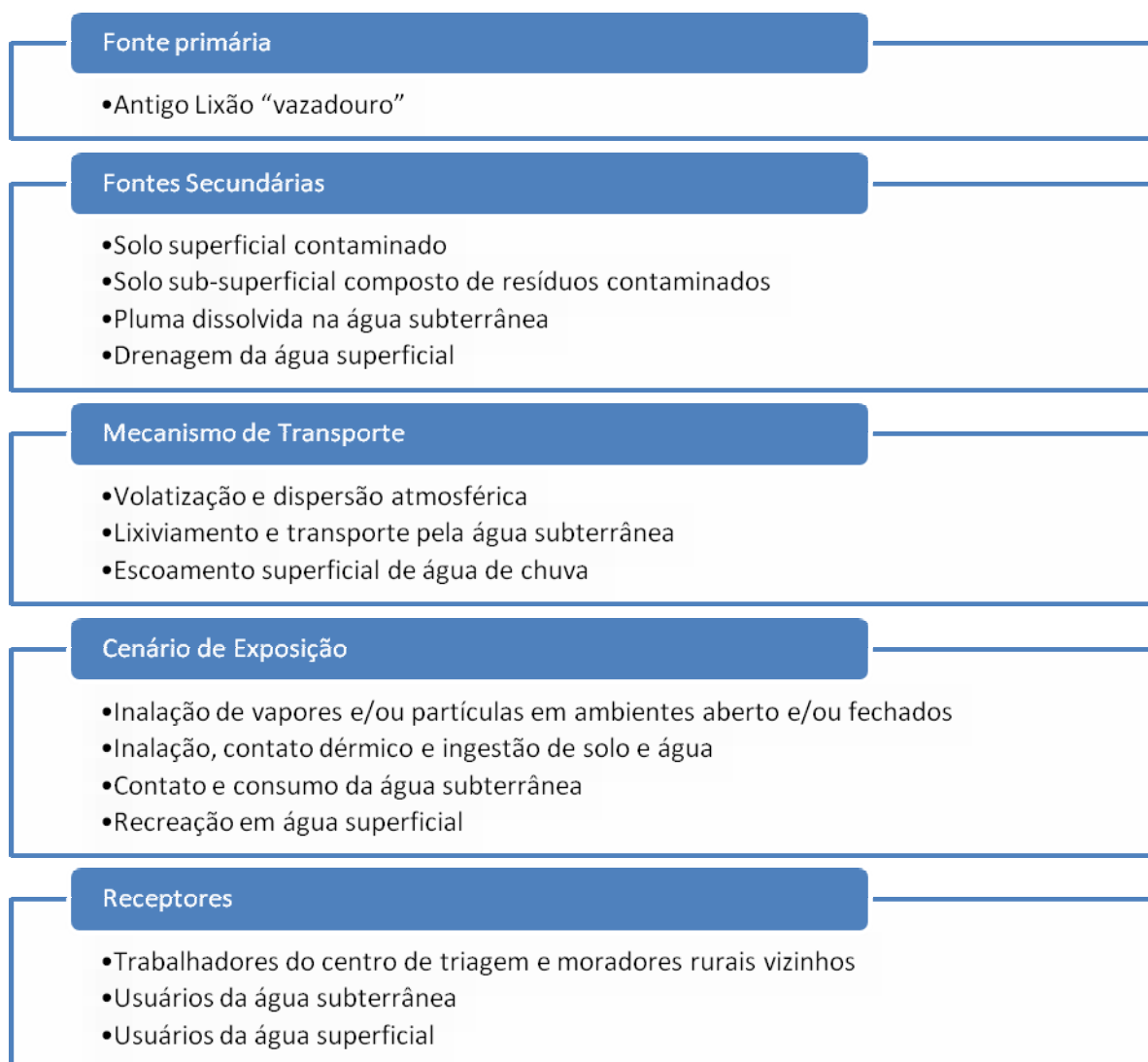


Figura 27 – Fluxograma do Modelo Conceitual.

#### **14. ABERTURA E CONSTRUÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO**

A abertura e construção dos poços de monitoramento tomaram como base as normas da ABNT:

- NBR 15492: 2007 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento que estabelece os requisitos exigíveis para a execução de sondagem de reconhecimento de solos e rochas para fins de qualidade ambiental;
- NBR 15495-1: 2007 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 1: Projeto e construção que fixa os requisitos exigíveis para a execução de projeto e construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas em meios granulares, objetivando:
  - a) A obtenção de amostras representativas da qualidade da água subterrânea;
  - b) A construção durável e confiável dos poços de monitoramento;
  - c) A caracterização hidrológica adequada da área, de acordo com as necessidades de cada projeto; e
- NBR 15495-2: 2007 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2: Desenvolvimento que apresenta métodos e procedimentos aplicáveis no desenvolvimento de poços de monitoramento instalados em aquíferos granulares, construídos e instalados de acordo com as condições definidas na ABNT NBR 15495-1.

Os serviços de campo foram iniciados com a aplicação dos seguintes métodos de investigação: sondagem rotativa, sondagem mista e a trado manual. O período de realização das sondagens foi de 06 a 30 de maio de 2014.

##### a) Sondagem Rotativa

Sondagem rotativa é um método de investigação que consiste no uso de um conjunto moto-mecanizado, projetado para a obtenção de amostras de materiais resistentes ou rochosos, contínuas e com formato cilíndrico, através de ação perfurante dada

basicamente por forças de penetração e rotação que, conjugadas, atuam com poder cortante.

Quando uma sondagem alcança uma camada de rocha ou quando no curso de uma perfuração as ferramentas das sondagens à percussão encontram solo de alta resistência, resíduos ou entulho, blocos ou matacões de natureza rochosa é necessário recorrer às sondagens rotativas.

A sondagem realizada puramente pelo processo rotativo só se justifica quando a rocha aflora ou quando não há necessidade da investigação pormenorizada com coleta de amostras das camadas de solos residuais, sedimentares ou coluviais que na maioria dos casos recobrem o maciço rochoso.

b) Sondagem Mista

São aquelas executadas por sondagem à percussão, em todos os tipos de terreno, penetráveis por este processo e por meio de sondagem rotativa, onde for inoperante o sistema à percussão, face a impenetrabilidade no terreno prospectado.

Os dois métodos são utilizados alternadamente, de acordo com a natureza do terreno atravessado, até ser atingida a cota do estudo e/ou critérios estabelecidos em especificação para sua paralisação.

O conhecimento prévio das condições geológicas do local poderá recomendar desde o início a provisão de um equipamento de sondagem mista, propiciando a execução do reconhecimento em menor prazo e com menos custo. Consiste na combinação de equipamentos tradicionais de sondagem à percussão e rotativa.

Para este método assim com a rotativa foram executados 22 (vinte e dois) poços de monitoramento.

c) Sondagem com Trado Manual

Assim como a sondagem de reconhecimento o abertura dos poços também utilizou-se da sondagem manual. A perfuração a trado manual é realizada através da introdução e rotação manual do conjunto acoplado às hastes de curta extensão. O trado é então retirado do furo e a amostra deformada do solo é retirada com uma ferramenta apropriada.

O processo é repetido até que a profundidade requerida seja atingida ou não haja mais recuperação do material perfurado. Hastes são adicionadas e presas ao trado conforme a perfuração prossegue. O sucesso da perfuração a trado manual depende da manutenção do furo aberto. Normalmente há o desmoronamento das paredes do furo quando a perfuração é executada em solo saturado. Portanto, a perfuração a trado pode ser limitada em solos saturados.

As perfurações com trados manuais permitem a observação do perfil de subsuperfície e a coleta das amostras em profundidades preestabelecidas. Para este uso o trado foi utilizado para verificação e determinação da massa de resíduos no solo, sendo realizado em 18 (dezoito) furos de sondagem manual.

O cuidado utilizado para garantir a segurança do pessoal envolvido e uma adequada instalação foi o uso de Equipamentos de Proteção Individual como botas de segurança, capacetes e luvas, e de um tripé de aço com roldana para auxílio na retirada das hastes quando em grande quantidade e servir de centralizador, para manter o alinhamento dos tubos de revestimento. A Figura a seguir ilustra a utilização do trado manual durante a abertura dos poços de monitoramento no local.



Figura 28 – Execução da sondagem manual através de trado.



Figura 29 – Execução da sondagem mecanizada através de sonda rotativa.

A Figura a seguir apresenta o projeto dos poços de monitoramento com revestimento simples, conforme NBR 15495-1:2007.

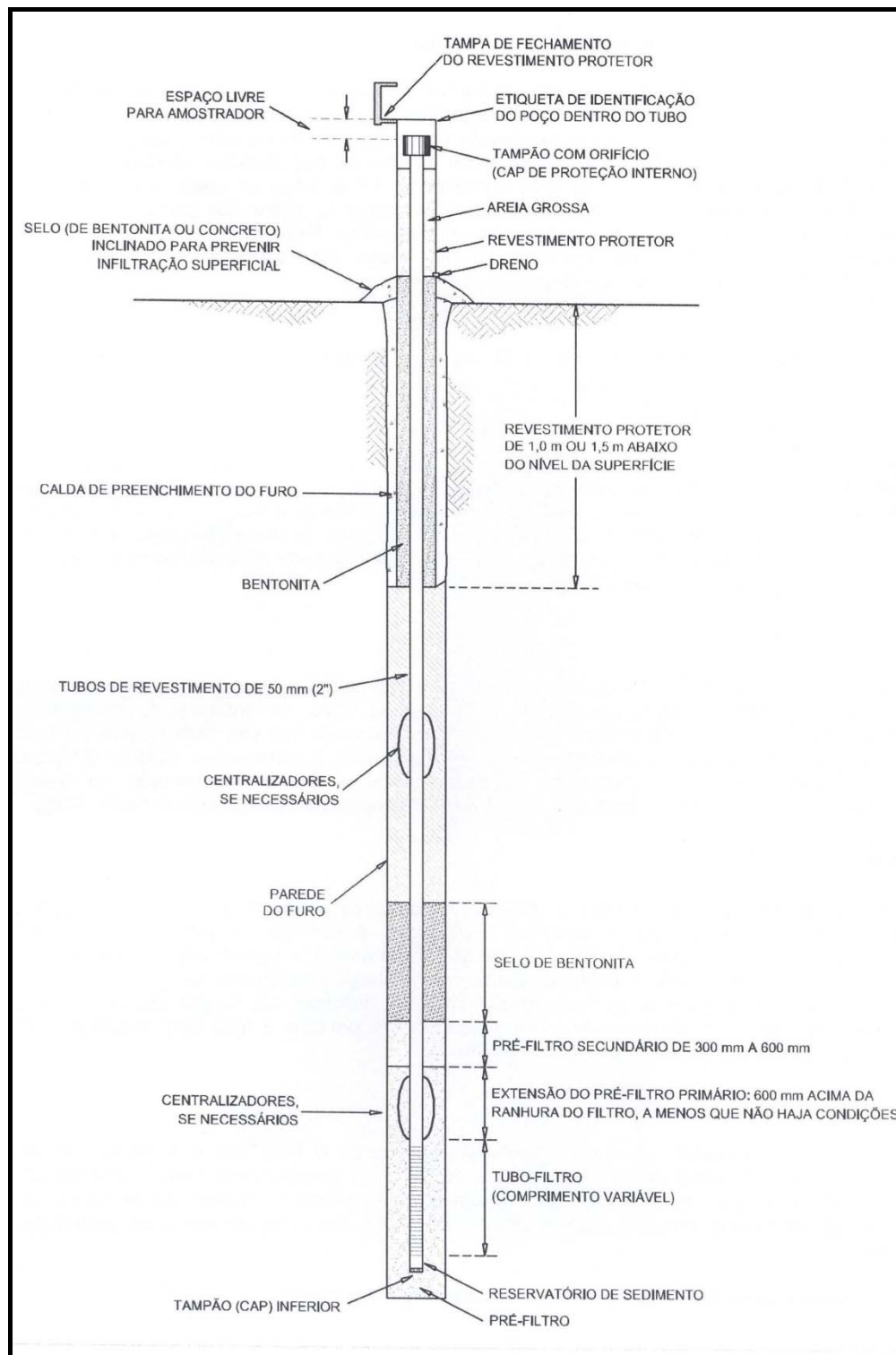


Figura 30 – Projeto do poço de monitoramento com revestimento simples.

➤ **Registro de perfurações**

Todas as ocorrências, informações e procedimentos adotados durante a execução de cada perfuração foram documentados e registrados pela empresa que executou a abertura e construção dos poços, de modo a possibilitar o posterior entendimento e tratamento dos dados apresentados.

➤ **Descontaminação de equipamentos**

Todas as ferramentas e equipamentos que estiveram diretamente em contato com a amostra a ser coletada e/ou com o material encaixante, que não fossem descartáveis, como por exemplo, trados, brocas, amostradores, pás, espátulas, baldes, revestimentos, hastes, etc., foram obrigatoriamente descontaminados entre as perfurações em uma mesma área e entre áreas distintas.

➤ **Montagem do tubo-filtro e tubo de revestimento**

Os técnicos responsáveis pela construção do poço tomaram todas as precauções para garantir que qualquer produto contaminante não entrasse em contato com os materiais utilizados para a construção do poço, bem como utilizassem luvas de procedimento enquanto executassem a montagem.

Para os acoplamentos foram utilizados anéis de vedação, os quais foram confeccionados de materiais que não alterassem a qualidade da amostra. O acoplamento foi realizado manualmente. Para a instalação do tubo de revestimento o mesmo foi estendido na superfície do terreno de forma provisória, tampado para evitar a entrada de materiais durante as operações de instalação.

➤ **Instalação do pré-filtro primário**

Para ser eficaz, a camada de pré-filtro foi estendida acima do topo do tubo-filtro, a uma distância acima de 60 cm.



A instalação do tubo-filtro foi precedida pela instalação de 2 a 10% do pré-filtro primário, no fundo do furo, diretamente entre o tubo de revestimento e a parede do furo, usando uma linha de nível para verificação da profundidade do topo do pré-filtro implantado.

O tubo-filtro e o conjunto de tubos de revestimento são então centrados no furo usando um ou mais centralizador ou dispositivo alternativo de centragem, localizado(s) a não mais de 3 m acima da base do poço.

Uma camada de pré-filtro secundário com 30 cm de espessura foi instalada acima do pré-filtro primário, para prevenir a intrusão do material do selo anular no pré-filtro primário.

Uma calda de bentonita foi colocada no espaço anular entre a parede do furo e o tubo de revestimento, no topo do pré-filtro primário ou secundário. Para ser eficaz, o selo anular de bentonita foi feita com aproximadamente 1,0 m a 1,5 m de espessura. Para os poços a jusante também foram adicionados um selo com a cimentação devido a profundidade do lençol freático. Os furos foram realizados com diâmetro de no mínimo 10 cm (4") maior que o diâmetro do revestimento externo.

➤ **Proteção do poço**

A proteção do poço refere-se especificamente às instalações realizadas com o propósito de impedir o acesso não autorizado a deter a entrada de água superficial no espaço anular e no seu interior. O revestimento protetor utilizado consiste em um dispositivo instalado na porção superior do poço de monitoramento, com a finalidade de isolar e proteger o tubo de revestimento.

O seu interior foi mantido adequadamente desobstruído e limpo para o manuseio de equipamentos e evitar a contaminação superficial. Os revestimentos protetores utilizados foram os chamados CAPs, de plástico estrutural, rosqueados ao tubo de PVC e tampa de fechamento de alumínio que evita, de forma eficiente, a entrada do líquido no poço.

A tampa de fechamento do revestimento protetor possui um dispositivo que contém o símbolo de poço de monitoramento (triângulo em relevo). A tampa de calçada de proteção é ilustrada na Figura a seguir.



Figura 31 – Revestimento Protetor

➤ **Desenvolvimento de poços**

O desenvolvimento de poços tem a finalidade de remover o material granular mais fino do pré-filtro e do trecho filtrante. Este material pode interferir com a qualidade das

análises. Além disto, o desenvolvimento tem a finalidade de restaurar as propriedades da água subterrânea perturbadas pelo processo de perfuração, bem como melhorar as propriedades hidráulicas do pré-filtro e a comunicação hidráulica entre o poço e a unidade hidrogeológica adjacente ao trecho filtrante.

Os métodos de desenvolvimento de poços variam de acordo com as características físicas das unidades hidrogeológicas na qual o poço tem o seu trecho filtrante instalado, e de acordo com o método de perfuração adotado. Para o desenvolvimento dos poços in situ o método utilizado foi a retrolavagem, que é um método de desenvolvimento no qual é injetada água para a criação de um fluxo reverso.

O procedimento usado de retrolavagem foi de bombear água para o poço num volume suficiente para manter a carga hidráulica maior do que na formação. Isto requereu um grande volume de água proveniente de fonte confiável.

Dois procedimentos para realizar a retrolavagem foram realizados em função do poço sendo desenvolvido. Um deles consistiu em iniciar e parar o bombeamento intermitentemente para produzir mudanças rápidas na carga hidráulica dentro do poço. Para alguns dos casos o retorno da água contida no tubo de descarga, combinada com a recuperação natural do poço, não foi o suficiente para causar um aumento do nível da água acima do nível estático. Neste caso, água suplementar foi adicionada ao poço quando o bombeamento foi interrompido.

O procedimento de retrolavagem foi iniciado a uma vazão reduzida, gradativamente aumentada até a vazão máxima, para minimizar o perigo do travamento da bomba por areia. Quando a água bombeada está isenta de sedimentos, a bomba é desligada permitindo que a água do tubo de descarga retorne para o poço, a bomba foi repetidamente ligada e desligada com a maior frequência possível de acordo com o seu limite.

Os serviços de desenvolvimento ocorreram concomitantemente ao encerramento de cada poço de monitoramento no local, sendo construídos 20 (vinte) para monitoramento da água subterrânea, apresentando suas respectivas coordenadas de localização na tabela 01 a seguir.

**Tabela 01 – Localização dos Poços de Monitoramento de Água Subterrânea.**

<b>PM</b>	<b>Este (x)</b>	<b>Norte (y)</b>	<b>Cota Top. (z)</b>
<b>PM-01</b>	218625. 8597	7401251. 6763	582.615
<b>PM-02</b>	218582. 9111	7401268. 4323	579.182
<b>PM-03</b>	218576. 5458	7401268. 8065	579.251
<b>PM-04</b>	218542. 0912	7401283. 7838	577.020
<b>PM-05</b>	218494. 8668	7401301. 8520	574.456
<b>PM-06</b>	218453. 4301	7401320. 0505	573.085
<b>PM-07</b>	218448. 6734	7401323. 1207	573.140
<b>PM-08</b>	218404. 9563	7401353. 3402	573.740
<b>PM-09</b>	218436. 3165	7401392. 0431	574.695
<b>PM-10</b>	218461. 0000	7401418. 0000	575.817
<b>PM-11</b>	218493. 1753	7401448. 7663	577.306
<b>PM-12</b>	218522. 9006	7401486. 1281	579.858
<b>PM-13</b>	218543. 7625	7401502. 4106	581.066
<b>PM-14</b>	218569. 5431	7401467. 7079	582.604
<b>PM-15</b>	218594. 0523	7401431. 5711	582.806
<b>PM-16</b>	218617. 5007	7401393. 9053	582.690
<b>PM-17</b>	218631. 9750	7401366. 4446	582.789
<b>PM-18</b>	218649. 8999	7401324. 0211	583.382
<b>PM-19</b>	218669. 7660	7401274. 6983	584.649
<b>PM-20</b>	218647. 0000	7401260. 0000	583.612

Já para os poços de monitoramento de gases na área do vazadouro atendem a tabela 02 a seguir.

**Tabela 02 – Localização dos Poços de Monitoramento de Gases.**

<b>PM de Gases</b>	<b>Este (x)</b>	<b>Norte (y)</b>	<b>Cota Top. (z)</b>
<b>PMG 01</b>	218623. 6418	7401252. 9253	582.595
<b>PMG 02</b>	218583. 6385	7401266. 2736	579.600
<b>PMG 03</b>	218573. 1584	7401270. 1699	579.054
<b>PMG 04</b>	218543. 2531	7401281. 7561	577.401
<b>PMG 05</b>	218498. 1545	7401300. 6063	574.632
<b>PMG 06</b>	218455. 8886	7401321. 8378	573.204
<b>PMG 07</b>	218450. 8613	7401325. 4271	573.278
<b>PMG 08</b>	218407. 4702	7401356. 5620	573.923
<b>PMG 09</b>	218438. 4828	7401395. 2338	574.737
<b>PMG 10</b>	218459. 1982	7401416. 1231	575.692
<b>PMG 11</b>	218491. 0875	7401447. 5516	577.215
<b>PMG 12</b>	218521. 6652	7401484. 1654	579.742
<b>PMG 13</b>	218546. 7333	7401498. 4580	581.336
<b>PMG 14</b>	218572. 5364	7401463. 8080	582.657
<b>PMG 15</b>	218596. 5023	7401427. 3969	582.796
<b>PMG 16</b>	218619. 7976	7401389. 7448	582.657
<b>PMG 17</b>	218633. 4726	7401362. 0864	582.844
<b>PMG 18</b>	218651. 6875	7401321. 0709	583.427
<b>PMG 19</b>	218669. 2954	7401270. 8210	584.732
<b>PMG 20</b>	218642. 6715	7401257. 4972	583.407

Observa-se o encerramento do poço de monitoramento de gases no local.



Figura 32 – Encerramento do poço de monitoramento de gases, observa-se a válvula de fechamento.



Figura 33 – Visualiza-se a tampa de proteção tipo calçada instalado no poço de monitoramento de gases.

## **15. CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA E GEOLOGICA LOCAL**

Na área de estudo foram reconhecidos superficialmente solos residuais composto por argila silto arenosa a argila areno siltosa, fato verificado durante as campanhas de sondagem de reconhecimento ambiental e abertura dos poços de monitoramento.

A descrição abaixo integra e resume as características e organização dos principais estratos do solo identificados durante a sondagem executada na área.

A – Argila silto arenosa, pouco friável, de cor vermelha a marrom;

B – Argila siltosa, pouco a moderado friável de cor amarela;

C – Argila areno siltosa, muito friável, de cor cinza a amarela;

Em campo a análise tátil visual indicou material com granulometria argilo areno siltoso, entretanto as análises laboratoriais apresentaram característica de solo argilo siltoso. Contudo a análise laboratorial indicou a presença de areia nas diversas faixas analisadas incluindo pedregulho, conforme anexo.

As sondagens realizadas indicam que o nível d'água encontra-se em profundidades entre 5,12 a 14,40 m.

A presença dessas granulometrias contribui para formação de vazios que favorecem a percolação da água ou fase líquida de resíduos, aumentando consideravelmente a permeabilidade e a mobilidade de contaminantes.

## **16. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGICA LOCAL**

Localmente o aquífero apresenta-se do tipo misto, acordo com a pressão e a capacidade de transmissão de água; heterogêneo para sua isotropia, e apresenta também características de aquífero fraturado para as camadas de argilitos, bastante litificado encontrados nas porções mais profundas atingidas pela campanha de sondagem.

Ensaio tático visual e ensaios de campo atribuí coeficientes de permeabilidade baixos a médios variando entre  $10^{-4}$  próximos a superfície e  $10^{-6}$  m/s obtidos em ensaios de permeabilidade (slug test) nos poços de monitoramento instalado, sendo considerado a média de  $1,85 \cdot 10^{-5}$ .

Um dos principais objetivos da campanha de perfuração de poços na área do empreendimento foi à determinação do nível freático e a obtenção de dados necessários a elaboração de um mapa potenciométrico, e o controle da qualidade da água do aquífero.

Foi utilizado um software, Surfer 11, para realizar a análise estatística das cotas do NA nos vários pontos de amostragem, e através de interpolação e métodos da kriggagem obteve-se um mapa potenciométrico local.

O contorno revela um fluxo geral de água subterrânea a partir do topo da elevação, convergente para sua parte S e W em direção ao talvegue.

Para confecção do mapa potenciométrico da área de estudo, utilizou-se as coordenadas X, Y, Z obtido em levantamento planialtimétrico dos poços de monitoramento. Juntamente com o nível d'água obteve-se a carga hidráulica para cada poço, e com base nelas foi elaborado o mapa potenciométrico em anexo.

**Tabela 03 - Dados dos Poços de Monitoramento de Água Subterrânea (jun/2014).**

Poço	Este	Norte	Cota	NA	Carga
<b>PM-01</b>	218625,85	7401251,67	582,615	12,56	570,055
<b>PM-02</b>	218582,91	7401268,43	579,182	8,8	570,382
<b>PM-03</b>	218576,54	7401268,80	579,251	8,68	570,571
<b>PM-04</b>	218542,09	7401283,78	577,020	5,12	571,900
<b>PM-05</b>	218494,86	7401301,85	574,456	5,52	568,936



<b>PM-06</b>	218453,43	7401320,05	573,085	6,47	566,615
<b>PM-07</b>	218448,67	7401323,12	573,140	6,51	566,630
<b>PM-08</b>	218404,95	7401353,34	573,740	8,45	565,290
<b>PM-09</b>	218436,31	7401392,04	574,695	7,03	567,665
<b>PM-10</b>	218461,00	7401418,00	575,817	7,8	568,017
<b>PM-11</b>	218493,17	7401448,76	577,306	9,12	568,186
<b>PM-12</b>	218522,90	7401486,12	579,858	12,76	567,098
<b>PM-13</b>	218543,76	7401502,41	581,066	14,4	566,666
<b>PM-14</b>	218569,54	7401467,70	582,604	12,32	570,284
<b>PM-15</b>	218594,05	7401431,57	582,806	8,29	574,516
<b>PM-16</b>	218617,50	7401393,90	582,690	8,62	574,070
<b>PM-17</b>	218631,97	7401366,44	582,789	9,93	572,859
<b>PM-18</b>	218649,89	7401324,02	583,382	10,55	572,832
<b>PM-19</b>	218669,76	7401274,69	584,649	12,59	572,059
<b>PM-20</b>	218647,00	7401260,00	583,612	11,9	571,712

As linhas potenciométricas traçadas no mapa indicam o sentido de fluxo da água subterrânea para o talvegue comprovando o caráter efluente da drenagem (a drenagem sofre aporte de água proveniente do aquífero).

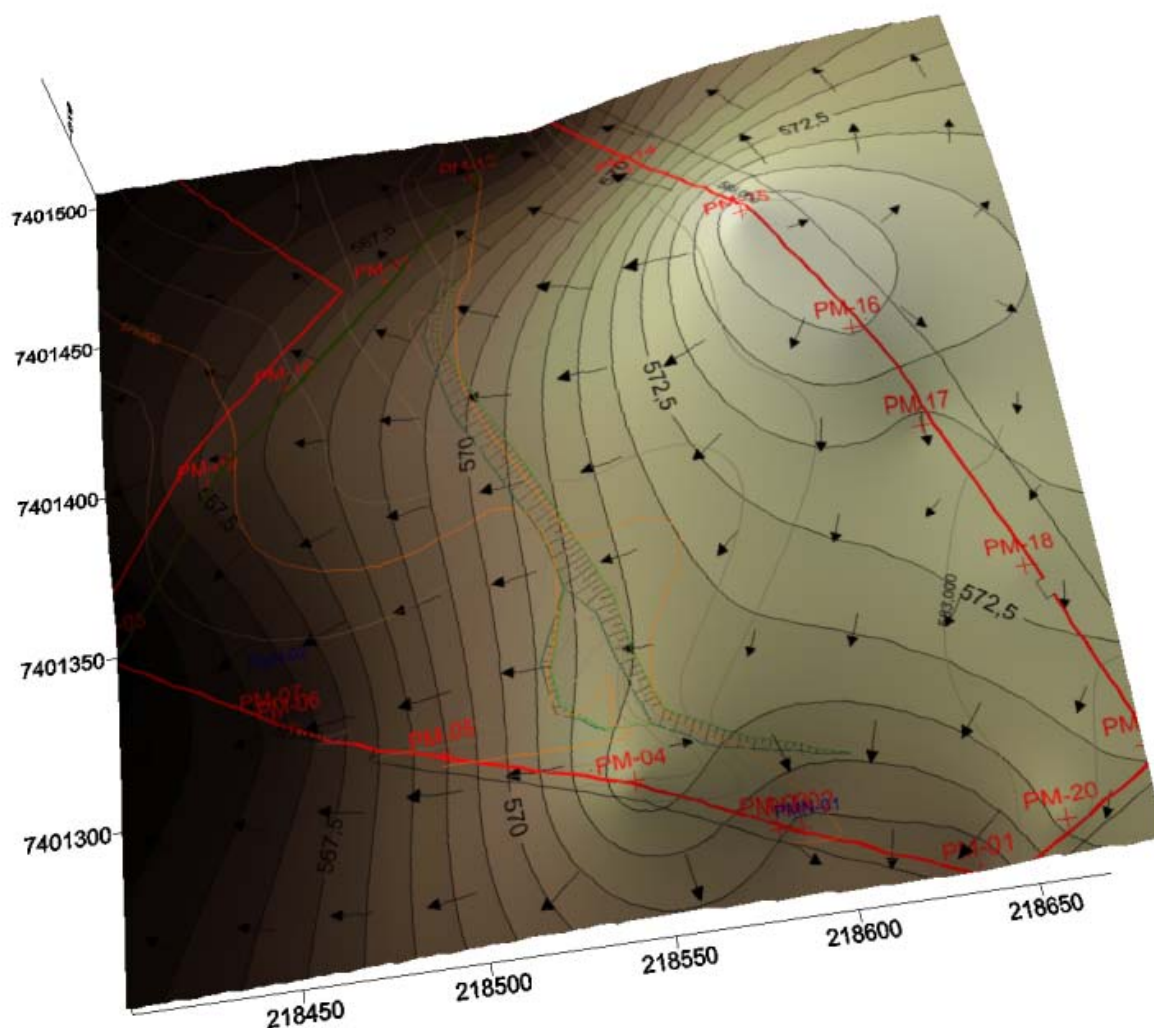


Figura 34 – Mapa potenciométrico 3D e fluxo da água subterrânea.

De acordo com a ilustração o fluxo preferencial de água subterrânea se desloca com direção SW, em sentido do talvegue para o curso d'água.

Utilizando-se das equipotenciais foi possível a determinação do gradiente hidráulico de **4,28%** que possibilitou a determinação da velocidade linear baixa da água subterrânea. Para este cálculo os valores do coeficiente de permeabilidade e porosidade foram determinado por ensaios de campo e laboratório.

Para a determinação da velocidade de caminhamento da água subterrânea, utilizou-se a lei de Darcy, que estabelece:

$$V = K / n_{ef} * \Delta h / \Delta L \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V = Velocidade de caminhamento (m/s)

K = coeficiente de permeabilidade (m/s)

$\Delta h/\Delta L$  = gradiente hidráulico (adimensional)

$n_{ef}$  = porosidade específica (adimensional)

O dado obtido para K foi retirado de testes de infiltração, sendo que essa não é a metodologia mais correta, visto que mede principalmente a infiltração em zona não saturada. A porosidade específica foi adotada para a litologia observada e o gradiente hidráulico é obtido através da diferença de potencial e distância em linha reta na planta entre os PM-15 e PM-08. Os dados usados seguem abaixo:

$$K = 1,85E-7 \text{ m/s}$$

$$n_{ef} = 0,04$$

$$\Delta h/\Delta L = 9,23/215,78$$

Com isso o valor obtido da velocidade média de caminhamento da água subterrânea para o site foi 1,98E-7 m/s ou 0,017 m/dia ou 6,24 m/ano. Desta forma a velocidade do fluxo corresponde a 7,91E-9 m/s.

## 17. SCREENING PARA GASES NO SOLO

As medições de Metano, Oxigênio e PID tiveram como finalidade determinar e quantificar sua presença no subsolo da área investigada e, desta forma, contribuir para a

dispersão ao longo da área de estudo. As perfurações foram locadas em malha com espaçamento regular, de acordo com a área total do estabelecimento.



Figura 35 – Execução da perfuração com martetele para medição de gases no maciço de resíduos.

A campanha de screening foi realizada utilizando-se um aparelho eletrônico apropriado, da marca IBRID modelo Mx6, composto de 6 (seis) sensores e uma bomba a vácuo. Ao todo foram investigados 100 (cem) pontos de screening, distribuídos em uma malha regular ao longo da área de estudo, numa profundidade média de 0,95 m.



Figura 36 – Medição em campo dos parâmetros Metano, Oxigênio e PID, com o aparelho IBRID modelo Mx6.

As tabelas a seguir apresentam os valores de medição em campo assim como suas coordenadas e cota topográfica.

**Tabela 04 – Valores de medição de gases - screening.**

Nº do ponto	CH4 (%)	PID (%)	O2 (%)	E (m)	N (m)	Z (m)
1	0	0,4	19,7	218541.9200	7401501.6640	580.759
2	0	0	20,7	218532.4588	7401489.0419	580.593
3	0	0,9	20,7	218523.0997	7401476.3798	579.946
4	36	6,2	12,8	218513.7405	7401463.7177	578.710
5	0	1,4	19,9	218504.3814	7401451.0556	577.749
6	0	2,1	20,7	218498.5702	7401433.4792	576.946
7	0	2,7	20,5	218508.9758	7401444.6918	577.839
8	0	17,9	20,6	218520.3919	7401454.4507	580.006

9	0	9,9	20,1	218531.8080	7401464.2095	580.261
10	0	2,1	18,5	218543.2241	7401473.9684	580.679
11	0	0,9	17,9	218553.5251	7401485.4884	582.150
12	0	1,2	16,7	218565.5932	7401464.9454	582.098
13	2	2,3	18,3	218555.6766	7401458.1880	580.961
14	9	0,5	11,7	218545.7601	7401451.4306	580.702
15	37	1,4	6,1	218535.8436	7401444.6732	580.469
16	9	0,3	19	218525.9271	7401437.9158	580.237
17	0	0,6	20,7	218516.0105	7401431.1584	580.327
18	0	0,5	20,9	218506.0654	7401424.3839	578.740
19	0	1	20,5	218513.2905	7401413.0900	580.603
20	0	1,3	20,9	218526.1574	7401420.8935	580.678
21	0	0,8	20,7	218539.0243	7401428.6970	580.625
22	26	1,4	19,4	218551.8911	7401436.5005	580.930
23	0	0,9	20,9	218564.7580	7401444.3040	581.303
24	1	0,7	18,2	218577.6249	7401452.1075	582.468
25	0	2,2	20,4	218579.2490	7401432.1036	581.830
26	0	0,9	19,6	218564.8687	7401425.0888	581.345
27	61	2,7	9,5	218550.4884	7401418.0741	580.975
28	0	0,4	20,7	218536.1082	7401411.0593	581.015
29	0	0,8	20,5	218521.7279	7401404.0445	581.318
30	42	6,5	15,6	218522.2831	7401390.9132	581.358
31	0	0,6	20,7	218536.0038	7401396.9748	581.539
32	0	1	20,7	218549.7245	7401403.0364	581.273
33	0	0,5	20,4	218563.4451	7401409.0980	581.358
34	4	2,4	19,3	218577.1658	7401415.1597	581.791
35	0	0,4	18,6	218590.8865	7401421.2213	582.255
36	0	0,4	20,5	218600.4457	7401409.8993	582.609

37	0	0,8	16,1	218588.3333	7401405.1780	582.198
38	0	1,1	20,6	218576.2209	7401400.4568	581.787
39	0	1,2	20,7	218564.1085	7401395.7356	581.502
40	0	1,4	20,9	218551.9961	7401391.0143	581.571
41	0	1,3	20,8	218539.8838	7401386.2931	581.392
42	0	1,6	20,9	218527.7714	7401381.5719	581.213
43	0	2	20,8	218599.5315	7401396.1389	582.364
44	67	4,2	6,2	218584.9655	7401390.6889	581.960
45	0	4,6	20,7	218570.3995	7401385.2389	581.476
46	0	2,2	18,8	218555.8334	7401379.7889	581.378
47	0	2,9	15,9	218541.2674	7401374.3389	581.167
48	0	3,7	15,3	218531.8490	7401356.8452	578.376
49	0	4,2	17	218536.2089	7401358.4421	580.670
50	0	0,8	80,3	218549.3535	7401363.2607	580.628
51	0	4,7	19,7	218562.4977	7401368.0804	580.630
52	0	0,6	20,7	218575.6423	7401372.8990	581.124
53	0	0,5	20,7	218588.7874	7401377.7163	581.618
54	0	0,4	20,7	218601.9321	7401382.5349	582.113
55	0	0	20,8	218615.2571	7401387.3296	582.517
56	0	0	20,8	218620.7618	7401374.1540	582.298
57	0	0,3	20,6	218607.6172	7401369.3355	581.752
58	0	0,4	20,4	218594.4726	7401364.5169	581.257
59	1	3,1	16,9	218581.3279	7401359.6983	580.763
60	0	0,6	20,8	218568.1833	7401354.8798	580.269
61	0	0,3	19,6	218555.0386	7401350.0612	579.775
62	0	0,7	19,1	218541.8940	7401345.2427	579.673
63	0	0,9	17,8	218540.7742	7401331.3540	577.644
64	0	0,7	19,5	218550.3507	7401334.2336	579.359

65	0	0,5	20,7	218559.9271	7401337.1132	579.887
66	2	0	15,3	218569.5035	7401339.9928	580.414
67	0	0,6	20,8	218579.0799	7401342.8724	580.941
68	0	0,7	20,9	218588.6564	7401345.7520	581.468
69	0	0,8	20,8	218598.2328	7401348.6316	581.996
70	0	0,7	20,6	218607.8092	7401351.5112	582.523
71	1	1	19,6	218617.3856	7401354.3908	582.665
72	0	0,8	20,6	218628.0443	7401357.5958	582.773
73	0	0,7	20,6	218639.0876	7401341.4961	583.075
74	0	0,6	20,6	218627.5276	7401338.2763	582.884
75	0	0,8	20,7	218615.9676	7401335.0566	582.693
76	0	0,9	20,5	218604.4076	7401331.8368	582.658
77	0	1	20,8	218592.8476	7401328.6171	582.620
78	1	0,8	13,6	218581.2877	7401325.3973	581.971
79	0	1	19,5	218569.7277	7401322.1775	581.321
80	0	1,2	18,1	218558.1677	7401318.9578	580.672
81	0	1,1	17,3	218546.6077	7401315.7380	578.616
82	95	0,5	1,2	218531.1625	7401311.4001	575.902
83	0	1,5	18	218515.7758	7401307.1454	574.723
84	0	1,8	18,3	218646.4796	7401319.4365	583.348
85	2	1	6,5	218634.6921	7401317.1881	583.147
86	3	1,2	13,9	218622.9046	7401314.9398	582.946
87	0	0	20,2	218611.1172	7401312.6914	582.744
88	0	0	20,7	218599.3297	7401310.4431	582.664
89	0	0	20,9	218587.5422	7401308.1947	582.645
90	0	0	20,7	218575.7547	7401305.9464	582.556
91	0	0	20,1	218563.9672	7401303.6980	581.842
92	0	0	20,8	218552.1797	7401301.4497	580.461



93	0	0,5	13,3	218573.3967	7401291.9027	582.631
94	0	0,6	19,2	218585.3062	7401293.3742	582.651
95	0	0,5	17,7	218597.2156	7401294.8458	582.671
96	0	0	19,7	218609.1250	7401296.3173	582.810
97	0	0	20,3	218621.0345	7401297.7889	583.019
98	0	0,3	18,4	218632.9439	7401299.2605	583.163
99	7	0,7	2,9	218644.8533	7401300.7320	583.290
100	0	0,4	17,9	218656.7627	7401302.2036	583.753

Esta campanha também contemplou a medição nos poços de monitoramento de gases instalados, ao todo 20 (vinte) localizados ao próximo ao monitoramento da água subterrânea.

**Tabela 05 – Valores de medição de gases nos poços de monitoramento de gases.**

Nº do ponto	CH4 (%)	O2 (%)	E (m)	N (m)	Z (m)
PMG 01	0	20,2	218623. 6418	7401252. 9253	582.595
PMG 02	0	20,2	218583. 6385	7401266. 2736	579.600
PMG 03	0	20,7	218573. 1584	7401270. 1699	579.054
PMG 04	0	18,9	218543. 2531	7401281. 7561	577.401
PMG 05	0	18,2	218498. 1545	7401300. 6063	574.632
PMG 06	0	20,5	218455. 8886	7401321. 8378	573.204
PMG 07	0	20,2	218450. 8613	7401325. 4271	573.278
PMG 08	0	19,8	218407. 4702	7401356. 5620	573.923
PMG 09	0	18,5	218438. 4828	7401395. 2338	574.737
PMG 10	0	19,7	218459. 1982	7401416. 1231	575.692
PMG 11	0	19	218491. 0875	7401447. 5516	577.215
PMG 12	0	16,6	218521. 6652	7401484. 1654	579.742
PMG 13	0	18,2	218546. 7333	7401498. 4580	581.336

PMG 14	0	17,3	218572. 5364	7401463. 8080	582.657
PMG 15	0	14,7	218596. 5023	7401427. 3969	582.796
PMG 16	0	19,1	218619. 7976	7401389. 7448	582.657
PMG 17	0	20,5	218633. 4726	7401362. 0864	582.844
PMG 18	0	20,1	218651. 6875	7401321. 0709	583.427
PMG 19	0	20,5	218669. 2954	7401270. 8210	584.732
PMG 20	0	20,9	218642. 6715	7401257. 4972	583.407

## 18. CAMPANHA DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRANEA

A finalidade deste monitoramento será verificar eventuais alterações da qualidade da água de sub-solo em decorrência das atividades do antigo vazadouro de resíduos. Para isto foram coletadas 20 (vinte) amostras de água de poços de monitoramento do lençol freático instalados especificamente para este fim, além de 01 (um) brancos de campo e 01 (um) branco de equipamentos.

A lista de parâmetros adotados para análise foi definido de acordo com a Decisão de Diretoria no 195-2005-E DD CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo. As substâncias químicas da lista são:

- **Metais:** Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio, Zinco, Antimônio e Boro.
- **Pesticidas organoclorados:** Hexaclorobenzeno, Aldrin, Dieldrin, Endrin, DDD, DDE, DDT, b-BHC e g-BHC.
- **Bifenilas policloradas- PCB.**
- **Nitrato com N.**
- **VOC:** Benzeno, Estireno, Etilbenzeno, Tolueno, m,p-Xilenos, o-Xileno, Clorobenzeno, 1,2,3-Triclorobenzeno, 1,2,4-Triclorobenzeno, 1,3,5-Triclorobenzeno, 1,1-Dicloroetano, 1,2-Dicloroetano, 1,1,1-Tricloroetano, Cloreto de Vinila, 1,1-Dicloroetano, Cis-1,2-Dicloroetano,

Trans-1,2-Dicloroeteno, Tetracloroeteno, Cloreto de Metileno, Clorofórmio e Tetracloreto de Carbono.

- **SVOC:** Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(a)pireno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Indeno(1,2,3-, d)pireno, Naftaleno, 1,2-Diclorobenzeno, 1,3-Diclorobenzeno, 1,4-Diclorobenzeno, 1,2,3,4-Tetraclorobenzeno, 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno, 1,2,4,5-Tetraclorobenzeno, 2-Clorofenol, 2,4-Diclorofenol, 3,4-Diclorofenol, 2,4,5-Triclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol, 2,3,4,5-Tetraclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, Pentaclorofenol, o-Cresol, m,p-Cresol, Fenol, Bis[2-Etilexilftalato, Dimetilftalato e Di-N-Butilftalato.

A água subterrânea também deverá ser analisada para **coliformes fecais e coliformes totais**. O laboratório utilizado foi a BIOAGRI detentora de certificação ISO IEC 17025 para todos os parâmetros analisados, conforme previsto na Resolução SMA 090/2012 inclusive para execução da amostragem de baixa vazão.



Figura 37 – Frascos utilizados na amostragem de baixa vazão.



Figura 38 – Realização da filtragem em campo da amostras de água subterrânea.



Figura 39 – Procedimento de coleta com acompanhamento e medição de parâmetros de campo.



Figura 40 – Armazenamento das amostras para envio ao laboratório.

## 19. ANÁLISE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os serviços de campo foram realizados no período de 09 a 21 de junho de 2014, através de amostragem e coleta da água subterrânea sendo coletados e analisados 20 (vinte) amostras de água subterrânea nos poços de monitoramento ao redor da área de estudo, concomitantemente nos mesmos foi realizado o *slug test* para determinação da condutividade hidráulica.

Para as 20 (vinte) amostras de água subterrânea analisadas apenas os poços de monitoramento PM-09 e PM-10 apresentaram valores acima do permitido (VMP) para os respectivos parâmetros Nitrato como N: 16.600 µg/L (VMP 10.000 µg/L) e Chumbo 111 (VMP 10 µg/L).

As demais amostras apresentaram valores de detecção em níveis aceitáveis pela legislação pertinentes. Encontram-se em anexo os boletins analíticos.

## 20. ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

O ensaio *Slug Test* consiste em uma técnica de campo para a determinação da condutividade hidráulica (K) horizontal do aquífero em poços de monitoramento. Esse ensaio é realizado com a introdução e/ou a retirada de um cilindro sólido de volume conhecido (*slug* ou cilindro de inserção) no interior do poço de monitoramento, provocando a variação instantânea de nível d'água. Esse volume deslocado equivale à adição ou à retirada de água do poço e é proporcional ao volume do cilindro.

Durante o ensaio, quando o cilindro é inserido, ocorre uma elevação instantânea do nível de água e avalia-se o tempo de rebaixamento desse nível e, quando o cilindro é retirado, ocorre uma queda instantânea do nível de água e avalia-se o tempo de recuperação do nível d'água.

Para a execução dos ensaios *Slug Test* foi necessário utilizar alguns equipamentos, tais como: um cilindro de PVC rígido com dimensões conhecidas (volume de 1,14 L, 1 m de comprimento e diâmetro de 0,038 m); cabo para fixar em uma das extremidades o cilindro; kit de ferramentas básicas para eventuais necessidades; materiais para desinfecção dos cilindros entre um e outro ensaio; calculadora simples; cronômetro; prancheta; ficha de campo; e um medidor de nível d'água com graduação.



Figura 41 – Início do ensaio de permeabilidade (slug test) no poço de monitoramento.



Figura 42 – Execução do Slug Test no poço PM-08.

Os ensaios foram realizados no período 16 a 19 de junho de 2014, para os 20 (vinte) poços de monitoramento instalado, respeitando-se as 8 etapas seguintes:

- 1 - Medição do nível d'água estático no poço de monitoramento e registro em ficha de campo. Após 10 minutos, foi repetido o processo;
- 2 - Introdução do cilindro instantaneamente no poço. O nível d'água ascendeu acima do nível d'água estático;
- 3 - Posicionamento do sensor de medição do nível da água no interior do poço, juntamente com a introdução do cilindro. O sensor deve ser mantido acima da posição prevista para a profundidade do nível d'água, calculada previamente com a avaliação do volume do cilindro e da seção do poço;
- 4 - Medição do nível d'água no instante de equilíbrio, adotando-se esses valores como o tempo inicial (tempo zero) e nível d'água inicial (altura zero);
- 5 - Medição do nível d'água em intervalos curtos no início e mais longos em seguida;
- 6 - Acompanhamento do rebaixamento do nível d'água até recuperação do valor em pelo menos 90% em relação à variação da carga hidráulica inicial (altura da água inicial em relação ao datum);
- 7 - Retirada do cilindro sólido introduzido no poço, quando o nível d'água retornar ao seu nível estático inicial, respeitando no mínimo 30 minutos de ensaio, ou pelo menos recuperação de 90% em relação à variação da carga hidráulica inicial, ou no máximo 60 minutos de ensaio quando não atingir esse valor; e
- 8 - Medição da ascensão do nível d'água, após a retirada do cilindro, cuja altura irá rebaixar e imediatamente iniciará ascensão. Efetuar a medição do nível d'água em intervalos regulares de tempo até o do nível d'água retornar a sua posição original (nível estático inicial) ou pelo menos

Os resultados encontrados variam em grandezas de  $1,29 \times 10^{-4}$  a  $9,69 \times 10^{-6}$ , constituído por materiais argilosos e intercalações com camadas arenosas. Os boletim de resultados do slug test encontram-se em anexo.



## 21. RESULTADOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os resultados das análises laboratoriais foram comparados com a Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014 que dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências.

Os trabalhos de campo consistiram na realização de medidas in situ de parâmetros físico-químicos. Estes parâmetros, medidos na água subterrânea foram:

**Tabela 06 – Dados de campo dos poços de monitoramento (jun/2014).**

PM	Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Eh (mV)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
PM-01	34	5,32	15,42	21,3	-
PM-02	134	6,12	112,7	23,6	0,3
PM-03	48	5,13	200,3	23,3	-
PM-04	139	6,08	62,5	25,3	-
PM-05	49	5,13	55,5	16,7	0,7
PM-06	236	5,54	175,7	20,3	-
PM-07	112	5,45	115,8	21,3	0,3
PM-08	108	5,81	-41,5	21,9	-
PM-09	591	4,23	250,6	22,2	0,6
PM-10	257	6,05	218,5	20,9	-
PM-11	427	6,64	203,7	21,7	-
PM-12	299	5,83	185,9	20,9	2,2
PM-13	244	8,24	-132,6	19,5	0,9
PM-14	121	6,63	-120,5	22,1	-
PM-15	513	6,55	-119,3	22,2	2,0
PM-16	67	6,61	-94	21,4	-

PM-17	55	5,37	-80,5	22,1	1,5
PM-18	40	4,62	237,9	21,6	2,7
PM-19	68	5,27	-20,1	20,1	-
PM-20	97	6,51	-16,7	22,9	1,4

Segundo Fenzel (1986), a Condutividade Elétrica é o valor recíproco da resistividade elétrica. A condutividade da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. É a capacidade de a água transmitir a corrente elétrica. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de Sais Dissolvidos e a Condutividade Elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida da condutividade de uma água. A medida é feita através do condutímetro e a unidade usada é o  $\mu\text{ohm/cm}$ , a uma dada temperatura em graus Celsius.

Além dos níveis de metais, foi realizada a leitura do pH nas amostras coletadas dos poços de monitoramento instalados no local, detectando-se a variação de 4,23 a 8,24.

Fato que o pH influencia a mobilidade e solubilidade dos compostos inorgânicos. Quando seu valor diminui a mobilidade e solubilidade aumentam e conseqüentemente os níveis de concentrações para os compostos inorgânicos também, conforme figura de distribuição a seguir.

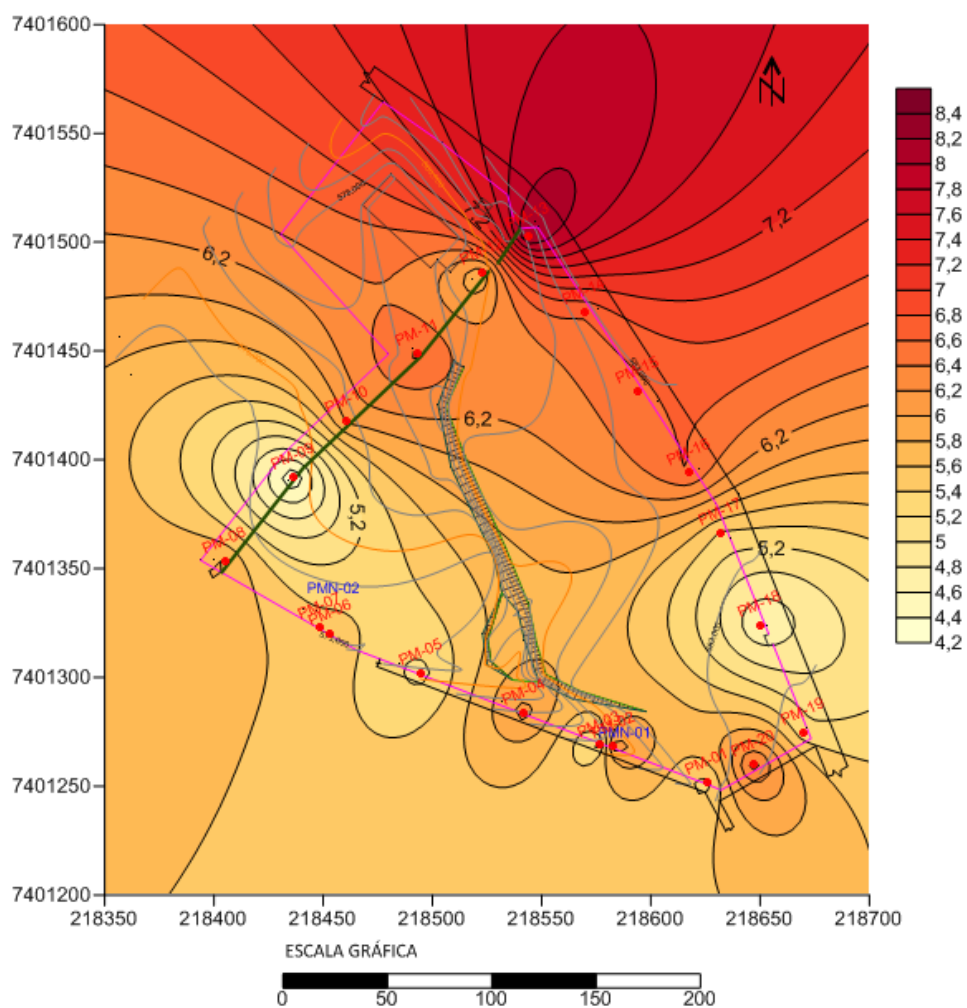


Figura 43 – Mapa de Distribuição de pH na água subterrânea.

Já o Potencial de Oxidação – Eh corrobora esta hipótese que próximo a fonte de contaminação, todo oxigênio é consumido e a água apresenta-se reduzida. À medida que a distância aumenta a água subterrânea apresenta-se mais oxidada evidenciando a mistura com outras águas não contaminadas, conforme figura de distribuição a seguir.

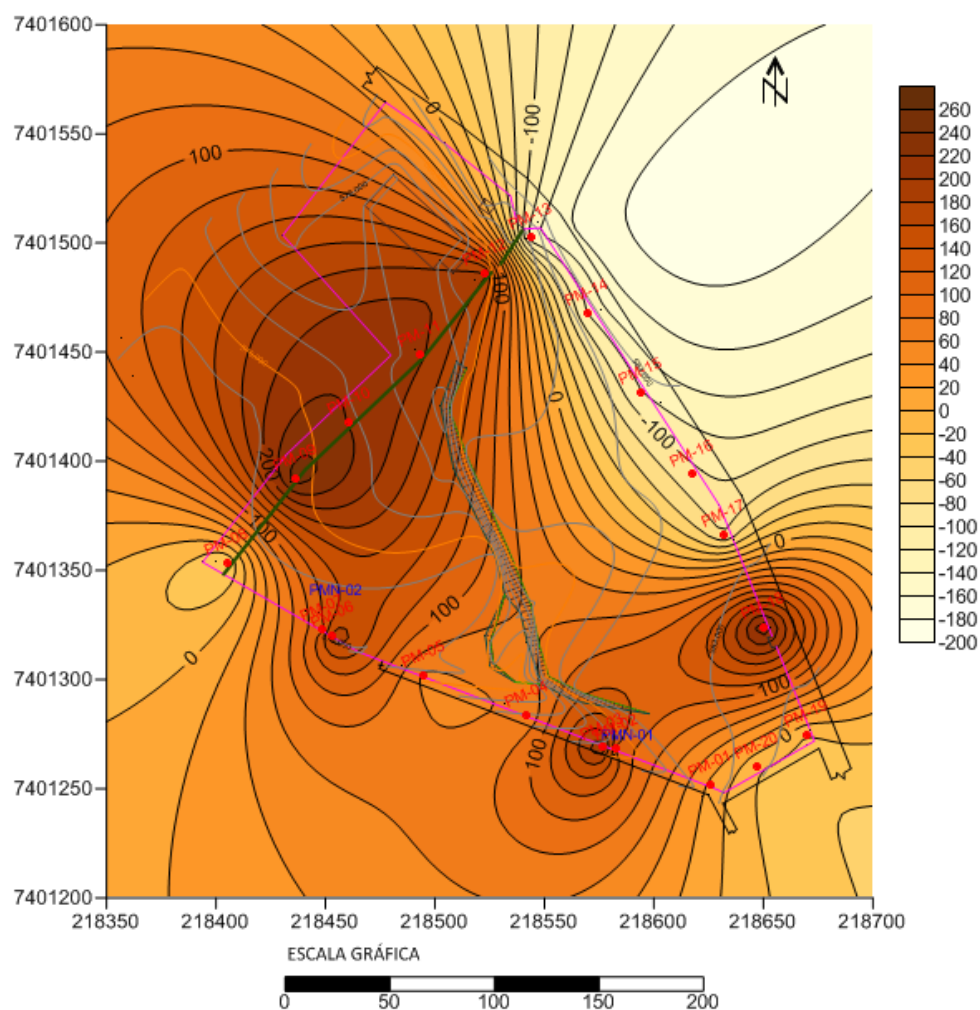


Figura 44 – Mapa de Distribuição de Eh na água subterrânea.

A disponibilidade dos íons ferro e manganês no ambiente é resultante de dois fatores antagônicos: um relacionado às condições de pH e Eh que favorecem a formação de óxidos-hidróxidos insolúveis e por outro lado, são encontrados na forma iônica nas águas subterrâneas devido a influências das águas pluviométricas e da força iônica, uma vez que os resíduos acha-se em contato com soluções fortemente salinas.

Os dados das análises de água dos poços de monitoramento foram analisados considerando os valores de intervenção do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2005), seguindo os critérios da Norma ISO/IEC 17025 e os resultados comparados com os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas – 2014 (valores de intervenção para água subterrânea). Os laudos analíticos encontram-se em anexo.

Comparando-se os resultados obtidos para as amostras com os Valores Orientadores para água subterrânea - CETESB - Decisão de Diretoria 045 de 20/02/2014 podemos observar que:

**Tabela 07 – Comparação dos resultados com os Valores Orientadores CETESB.**

PM	VMP Intervenção
PM-01	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-02	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-03	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-04	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-05	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-06	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-07	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-08	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-09	O(s) parâmetro(s) Nitrato (como N) não satisfazem os limites permitidos.
PM-10	O(s) parâmetro(s) Chumbo não satisfazem os limites permitidos.
PM-11	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-12	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-13	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-14	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-15	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-16	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

PM-17	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-18	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-19	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.
PM-20	O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.

Para as 20 (vinte) amostras de água subterrânea analisadas apenas os poços de monitoramento PM-09 e PM-10 apresentaram valores acima do permitido (VMP) para os respectivos parâmetros **Nitrato (como N): 16.600 µg/L** (VMP 10.000 µg/L) e **Chumbo: 111** (VMP 10 µg/L). As demais amostras apresentaram valores de detecção em níveis aceitáveis pela legislação pertinentes.

Entretanto foram detectados parâmetros como: clorofórmio, tolueno, benzeno, naftaleno, monoclorobenzeno, cresóis totais e fenol em valores abaixo do VMP. Também detectados abaixo do VMP parâmetros inorgânicos como: bário, vanádio, cobre, zinco, cromo e níquel.

Foi observada uma grande variação nas concentrações de Ferro, Manganês e Alumínio não apresentando valores de intervenção de acordo com a nova Decisão de Diretoria 045/2014. Encontram-se em anexo todos os boletins analíticos.

São vários os fatores que agem simultaneamente, interferindo na mobilidade e fixação de íons de metais pesados pelo solo como, por exemplo, precipitação direta, hidrólise e precipitação, precipitação precedida de complexação e precipitação precedida de redução (FERGUSON, 1991; NEDELKOSKA & DORAN, 2000; SOARES *et.al*, 2005).

O compartimento que primeiro sofre com a contaminação por íons de metais pesados associados a aterros é o solo, que têm se caracterizado como obstáculo natural para os contaminantes em função, em especial, às reações de sorção, solubilização, precipitação

e complexação que envolve o solo e o contaminante, além de controle de parâmetros como pH, Eh, textura do solo, percentagem e tipos de minerais de argila, percentagem de matéria orgânica, Capacidade de Troca Catiônica (CTC), oxi-hidróxidos de Fe, Mn e Al e CaCO<sub>3</sub> livre (SOLOMONS, 1995; KABATA-PENDIAS, 1995; BOULDING, 1995; MEURER *et.al.*, 2000; ANJOS, 2003).

O aumento nos valores de pH do solo, normalmente é acompanhado pela diminuição da mobilidade dos metais (ALLOWAY, 1995). Cátions como Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup> adsorvidos nas partículas do solo influenciam os valores de pH. O aumento desses íons adsorvidos diminui os valores de pH (TAN, 1993).

#### **21.1. COMPORTAMENTO DO NITRATO**

A ocorrência de rochas fornecedoras de nitrato no Estado de São Paulo ainda não foi apontada, dessa forma pode-se dizer que o nitrato observado nas águas subterrâneas tem origem no ciclo bioquímico desse elemento na natureza, incluindo as atividades humanas.

Altas concentrações de N-Nitrato podem produzir intoxicação em criança e em casos extremos até levá-la a morte por metemoglobinemia (cianose). O N-Nitrato também tem ação na produção de nitrosaminas e nitrosamidas no estômago do homem, substâncias conhecidas como carcinogênicas (Feitosa e Manoel Filho, 2000).

As principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas de origem antrópica são difusas, destacando-se a aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços.

Este parâmetro tem sido utilizado mundialmente como indicador da contaminação das águas subterrâneas, principalmente porque apresenta alta mobilidade na água subterrânea e persistência, podendo contaminar extensas áreas.

Os contaminantes comumente associados a estes sistemas são os compostos nitrogenados (inicialmente há a formação de amônia que normalmente se oxida a nitrato), contaminantes microbiológicos (bactérias patogênicas, vírus e protozoários) e, em alguns casos, substâncias orgânicas sintéticas. Dentre estes, o nitrato é o mais móvel e estável (persistente), dadas as condições normalmente oxidantes dos aquíferos superficiais.

## **21.2. COMPORTAMENTO DO CHUMBO**

O chumbo é um poluente ambiental extremamente tóxico e penetrante, sendo conhecidos seus efeitos maléficos desde a Antiguidade. As emissões de chumbo ocorrem em processos de fundição como em alguns ramos da indústria química de plásticos (BRENA, 2002).

Disperso na atmosfera, o chumbo acaba sendo depositado nas águas e/ou no solo, trazidos pela chuva. Quando acumulado no solo também pode acabar indo para as águas subterrâneas, através da lixiviação (ATSDR, 1999).

O chumbo, quando presente na água, em função principalmente dos valores de pH, dos sais dissolvidos e da presença de agentes complexantes, pode residir na água ou encaminhados para os sedimentos (ATSDR *op.cit.*, 1999). Águas com baixas concentrações de cálcio dissolvido, por exemplo, aumentam a solubilidade do chumbo de 30  $\mu\text{g L}^{-1}$  (em águas duras) para 500  $\mu\text{g L}^{-1}$  (WHO, 1995).

Fração representativa de chumbo tem sido encontrada na forma insolúvel carregado pelas águas dos rios. Essa forma consiste em partículas coloidais ou de carbonato, óxidos ou hidróxidos de chumbo incorporados em componentes de matérias lixiviadas do



solo (ATSDR *op. cit.*, 1999). A movimentação do chumbo do solo para as águas subterrâneas por lixiviação é muito lenta na maioria das condições naturais, exceto em situações de elevada acidez (MUNDELL, 1989).

No solo, o acúmulo de chumbo ocorre principalmente em função da taxa de deposição da atmosfera. Na maior parte o chumbo fica retido nas camadas superficiais do solo, no entanto pode ser transportado para as águas superficiais e subterrâneas. Os fatores que podem auxiliar o transporte e a disponibilidade do chumbo no solo são os valores de pH, composição mineral do solo, matéria orgânica, presença de colóides inorgânicos, presença de óxidos de ferro e a capacidade de troca iônica (WHO *op. cit.*, 1995).

A liberação do chumbo de complexos orgânicos para a forma solúvel está relacionada diretamente com os valores de pH. Em solos com  $\text{pH} \geq 5$  e contendo pelo menos 5% de matéria orgânica, o chumbo atmosférico é retido na camada superior do solo. Em solos que apresentam alto teor de matéria orgânica e pH entre 6 e 8, o chumbo pode formar complexos orgânicos insolúveis. Se o solo apresentar pouca quantidade de matéria orgânica e o mesmo pH, podem ser formados compostos óxidos-hidróxidos ou ainda ocorrer sua precipitação na forma de carbonatos ou fosfatos. Em pH entre 4 e 6, os complexos orgânicos do chumbo formados tornam-se solúveis e sofrem lixiviação ou podem ser absorvidos pelas plantas (WHO, 1995).

Eventualmente o ponto de maior concentração de chumbo encontra-se a montante da área do aterro, tendo um aumento de concentração entre as campanhas a montante e uma redução nas amostras a jusante.

## **22. CONTAMINAÇÃO POR LIXIVIADO**

A disposição de resíduos sólidos municipais foi um dos primeiros assuntos que despertou a preocupação sobre a contaminação da água subterrânea. Antes da década de

60, resíduos sólidos municipais e industriais eram largamente enterrados sem a mínima preocupação referente à hidrogeologia local. Aterros sofreram grandes mudanças referentes a projetos e modos de administração desde essa época até os dias atuais. Hoje, antes da instalação de um aterro sanitário, as áreas são investigadas e fatores hidrogeológicos são um componente importante para a seleção do local de implantação de um aterro sanitário.

Os projetos de aterro sanitários para resíduos municipais não perigosos incluem: sistema de impermeabilização, linhas múltiplas de drenagem, e coleta de lixiviado para tratamento. Essas obras são importantes para que esse líquido não entre em contato com a água subterrânea. Países desenvolvidos enfrentam atualmente sérios problemas ambientais, como a recuperação de áreas contaminadas, que são reflexos da falta de preocupação no passado. Por não utilizarem tais tecnologias, países em desenvolvimento certamente encontrarão os mesmos problemas com a água subterrânea no futuro (KEHEW, 2001).

Em aterros sanitários, um dos fatores agravantes é que os contaminantes presentes cobrem uma larga faixa de elementos orgânicos e inorgânicos, devido a grande variedade de resíduos presente no aterro. Em caso de contaminação, há uma diferença de origem entre elementos orgânicos e inorgânicos na água subterrânea. Os orgânicos são derivados dos resíduos orgânicos presentes no aterro, entretanto, muito dos componentes inorgânicos podem vir dos resíduos dispostos no aterro, pois sua origem pode ser a interação do lixiviado do aterro com o material presente no solo abaixo do aterro (DEUTSCH, 1997).

Outro agravante é que, apesar da proibição de resíduos perigosos (Classe I) em aterros sanitários para resíduos sólidos municipais, alguns elementos químicos tóxicos ou perigosos são encontrados em lixiviados de aterros. Isso ocorre pela prática de disposição irregular antes da instalação do aterro sanitário ou pela ineficiência na avaliação para a seleção dos resíduos dispostos no aterro (KEHEW, 2001). Esses elementos de alta toxicidade

são um sério problema relacionado à contaminação pelos aterros sanitários tornando-se fundamental o controle ambiental no gerenciamento de resíduos sólidos.

Em caso de contaminação do lixiviado proveniente de um aterro sanitário municipal, o contato deste líquido com a água subterrânea obedece principalmente às reações de óxido-redução, pois seu principal constituinte é matéria orgânica, cuja decomposição torna o líquido muito pobre em oxigênio.

Reações redox possuem grande importância na hidrogeologia. Um exemplo é que a presença de ferro livre na água subterrânea certamente implica em um ambiente redutor, ou seja, há falta de oxigênio disponível no ambiente para que o ferro possa reagir e formar o óxido de ferro. Contudo, essa regra é diferente se o ambiente contém nitrato. A condição redox, direta ou indiretamente, controla a mobilidade de muitos elementos, tais como o ferro e manganês. Por convenção, a oxidação é a perda de elétrons, o que implica num aumento do número associado à carga de um elemento num íon ou numa molécula (CARVALHO, 1995). Sobre essa convenção, a redução é o ganho de elétrons.

Na figura 45 a seguir é demonstrado, esquematicamente, as reações simplificadas de um aterro sanitário típico. A matéria orgânica do aterro utiliza o oxigênio no processo de decomposição e, nessas reações, toda quantidade disponível no ambiente é utilizada. Devido a escassez de oxigênio, o ambiente se torna redutor, o ferro e manganês precipitados na forma de minerais óxidos/hidróxidos se dissolvem, aumentando a concentração destes elementos na água (Fe, Mn >10 mg/L). E também, o pH diminui devido à elevada quantidade de ácidos formados na fase anaeróbia (DEUTSCH, 1997).

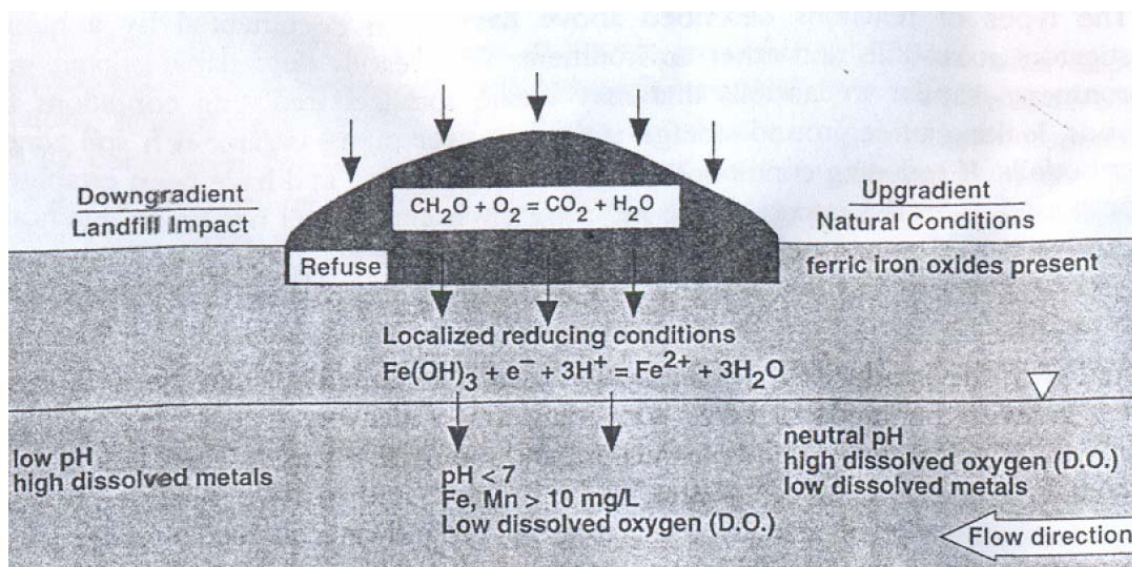


Figura 45 – Processos físico-químicos em um aterro sanitário (DEUTSCH, 1997).

A Figura 46 mostra a concentração dos metais Fe e Mn dissolvidos encontrada nos poços de monitoramento de um aterro estudado. Os valores dos metais dissolvidos são próximos a zero em amostras à montante do aterro, logo após passar pelo o aterro esses valores saltam para mais de 20 mg/L para o ferro e mais de 10 mg/L para o manganês. Esses valores diminuem conforme a pluma de contaminação se afasta do aterro. Essa diminuição é devido ao processo natural de oxigenação da água subterrânea. A presença do oxigênio torna o ambiente, da condição redutora para condição oxidante, e os metais que reagem com o oxigênio presente na água na forma dissolvida, novamente se tornam precipitados na forma de minerais óxidos/hidróxidos.

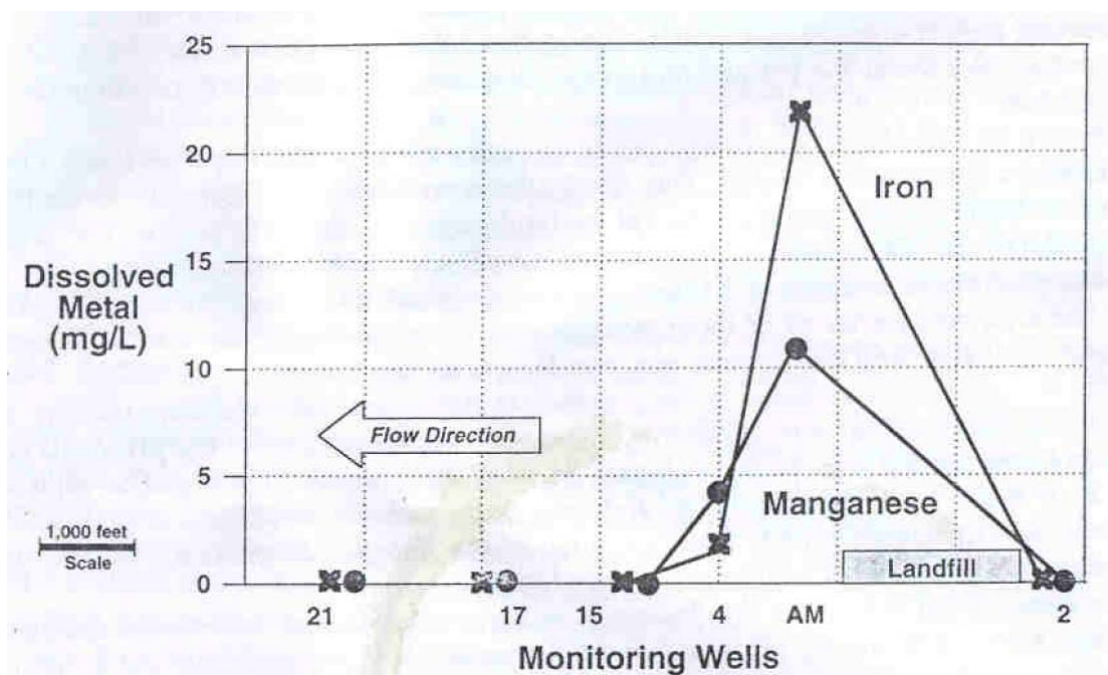


Figura 46 – Concentração do ferro e manganês dissolvido na água subterrânea ao longo do seu fluxo em um aterro sanitário (DEUTSCH, 1997).

Além do ferro e manganês, existem outros elementos que possuem mais de um estado de oxidação, tais como arsênio, cromo, mercúrio e enxofre.

### 23. MAPEAMENTO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO

Essa observação se baseia na hipótese de estarmos lidando com um único sistema aquífero, visto que as profundidades do lençol freático no mapa potenciométrico não apresentam disparidades em relação às cotas altimétricas medidas e também não há grande variação litológica nos perfis litológicos observados que poderiam gerar um fluxo diferenciado (lentes de areia, paleocanais, entre outros).

Observando-se o mapa potenciométrico foi calculado, com a velocidade média obtida, o tempo aproximado que uma pluma hipotética de um contaminante dissolvido na

água iria de um poço de monitoramento para outro, seguindo as linhas equipotenciais obtidas no mapa potenciométrico de 06/2014. Os resultados são descritos abaixo.

**Tabela 08 – Mobilidade do fluxo subterrâneo entre os poços de monitoramento.**

Poço de origem	Poço de destino	Distância em planta	Tempo
PM-15	PM-08	215,78 m	34,6 anos

O tempo descrito acima é uma média, derivada dos dados observados em campo e pode haver uma pequena variação no seu resultado. Mas ele indica que a velocidade de caminamento moderada no site em estudo.

Verifica-se, portanto, que a análise dos resultados analíticos, bem como o comportamento hidrogeológico e hidroquímico que o ponto de maior detecção de contaminantes e níveis altos de concentração encontra-se no PM-09 e PM-10. Por conveniência é definido o “antigo vazadouro de resíduos” como fonte ou origem de contaminação da água subterrânea, devido ao fato do local ter sido utilizado para a atividade de disposição final de resíduos do município de Capela do Alto.

## 24. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo proposto foi avaliar se as atividades de disposição irregulares na área do antigo “vazadouro municipal de resíduos” causaram contaminação do solo e água subterrânea e se ocorre migração de gases, gerados no maciço de resíduos, para o entorno da área em questão. Os resultados obtidos servirão para posterior readequação das medidas de intervenção e/ou adequação do projeto de recuperação da área.

O referido serviço foi realizado de acordo com o Termo de Referência, Processo Administrativo n. 100/2013, denominado relatório final de investigação ambiental, segundo Procedimento para avaliação de passivos ambientais em áreas de disposição final de resíduos.

Os trabalhos de campo foram conduzidos pela equipe técnica formada por Geólogo, Engenheiro Agrimensor e Engenheiros Sanitaristas e Ambientais da RESITEC Serviços Industriais Ltda. Todos os procedimentos adotados seguem métodos já consagrados e normas técnicas específicas. Ao todo a equipe de campo contou com 12 (doze) profissionais atuando concomitantemente em várias frentes de trabalho.

Para o fechamento deste relatório final foram concluídas as 6 campanhas indicadas no início do caderno com os seguintes serviços executados:

- ✓ Mobilização de equipamentos, material e pessoal sondagem
- ✓ Topografia (cotas altimétricas dos PM's)
- ✓ Sondagens ambientais para mapeamento do maciço de resíduos
- ✓ Abertura de poços de monitoramento (água subterrânea e gases)
- ✓ Acabamento de poço de monitoramento
- ✓ Screening para gases
- ✓ Mobilização equipamento e pessoal da amostragem
- ✓ Amostragem de água - baixa vazão

- ✓ Filtragem 0,45 µm
- ✓ Diária da equipe de amostragem mobilizada
- ✓ Análise química de água lista VOR CETESB
- ✓ Análise parâmetros físico do solo
- ✓ Teste de permeabilidade (*Slug test*)

Os métodos de perfuração adotados foram: sondagem a trado com ou sem lavagem, sondagem rotativa e sondagem mista, sendo os métodos sondagem rotativa e mista executadas através de uma sonda SS25 com motor Agrale M790 de 27 cv aliados a um conjunto de sondagem a percussão.

Os resultados destas sondagens servirão para delimitar a área de intervenção do vazadouro, seja pelo volume do maciço ou valores de contaminação detectados.

No que se refere a medições em campo “screening” para os gases apenas no maciço de resíduos foram detectados concentrações altas para o parâmetro metano variando de 2% a 95%. Já para os poços de monitoramento de gases instalados não foram detectados valores para referência.

Através das concentrações dos parâmetros detectados acima do permitido foi possível a geração dos mapas de isoconcentrações de contaminantes na área e a determinação do mapa potenciométrico, com auxílio carga hidráulica da topografia local.

Tais valores associados aos ensaios de campo também possibilitaram a determinação da velocidade e direção do fluxo subterrâneo do aquífero existente.

Apenas nos poços PM-09 e PM-10 foram detectados parâmetros acima dos valores de intervenção para água subterrânea VMP-CETESB Decisão da Diretoria 045/2014. Sendo



estes valores muito acima do permitido indicando possibilidade de risco à saúde humana, devendo ser impedida todos os cenários de exposição determinado no modelo conceitual deste relatório.

Vale ressaltar a detecção de inúmeros parâmetros orgânicos e inorgânicos não característicos a geologia local detectados nas análises laboratoriais, entretanto com valores aceitáveis pela legislação vigente.

No entanto, fica vedada a entrada de pessoas não autorizadas por questão de segurança e risco a saúde humana na área delimitada neste relatório.

## 25. RECOMENDAÇÕES

Após análises e considerações sobre a investigação ambiental realizada na área do antigo vazadouro de resíduos são recomendadas:

- ✓ Abertura de novos poços de monitoramento e poços multiníveis a jusante da área visando à delimitação da pluma de contaminação;
- ✓ Abertura de piezômetros no maciço de resíduos para verificação do nível de percolado, pressão e monitoramento geotécnico do vazadouro;
- ✓ Monitoramento ambiental das concentrações para acompanhamento evolutivo ao longo do ciclo hidrológico;
- ✓ Amostragem e análise do líquido percolado no maciço de resíduos; e
- ✓ Realização da Investigação Detalhada e Análise de Risco segundo ao Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas – CETESB.

## 26. REFERÊNCIAS

BRAGA, A.C.O & MALAGUTTI FILHO, W., 1997. Métodos geoeletricos aplicados na correlação com ensaios de SPT nas formações Rio Claro e Corumbataí no município de Rio Claro-SP. 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. 1997. CD Rom, SBGf. São Paulo-SP. 399-402p.

BRAGA, A.C.O, - 2002 - Métodos Geoeletricos Aplicados – Módulo Hidrogeologia, material didático. [www.rc.unesp.br/](http://www.rc.unesp.br/) ou [acobraga@rc.unesp.br](mailto:acobraga@rc.unesp.br);

BRAGA, A.C.O; MALAGUTTI FILHO, W.; DOURADO, J.C.; ELIS, V.R., 1999. Métodos geoeletricos aplicados no estudo do lençol freático em área de disposição de resíduos industriais. 6º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. 1999. CD Rom, SBGf. Rio de Salvador-BA. 1-4p.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas**: hidrologia ambiental. Rio de Janeiro: Coleção ABRH, 1989.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Decisão de Diretoria nº 103-2007-C-E, de 22 de junho de 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Decisão de Diretoria nº 045-2014-E-C-I, de 20 de fevereiro de 2014.

DEGROOT-HEDLIN, C. AND CONSTABLE, S., 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.

DOMENICO, P.A. (1987). An analytical model for multidimensional transport of a decaying contaminant species. *Journal of Hydrology*, 91, 49–58.

ELIS, V.R.; BARROSO, C.M.R E KIANG, C.H., 2004. Aplicação de ensaios de resistividade na caracterização do Sistema Aquífero Barreiras / Marituba em Maceió – AL. *Revista Brasileira de Geofísica* 22 (2): 101-113. *SBGf*.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. New York :Macmillan Publish Company,1993. 458 p.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall, 1979. 604 p.

GOULART COELHO, H.M., et al Estudo Preliminar da Contaminação por Metais Pesados na Área do Aterro de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Catas Altas – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5, 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 2003.

JOHNSON, P.C.; ETTINGER, R.A. Heuristic Model for Predicting the Intrusion Rate of Contaminant Vapors into Buildings; *Environ. Sci. Technol.* 1991, 25, 1445-1452.

MOURA, H.P. & MALAGUTTI FILHO, W., 2003. Aplicação integrada de métodos geoeletricos no aterro controlado de Rio Claro/SP. *8º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*. 2003. CDrom, SBGf. Rio de Janeiro-RJ. 1-6p.

OLIVA, A & KIANG, C.H., 2004. Método da eletrorresistividade para mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP). *I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica*. 2004. CDrom, SBGf. São Paulo. 1-4p.

OLIVEIRA, A.M.; BRITO, S.N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 343-352 p.

ROCHA, F.X.P. **Geotécnica I**. Porto Alegre: Instituto de Geociências da Escola de Geologia, 1974.

SHACKELFORD, C.D. Diffusion as a Transport Process in Fine Grained Materials. **Geotechnical News**, v. 6. n. 2, p. 24-27.

U.S.ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA); Risk Assessment Guidance fo Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A. July, 1989.

VARGAS, M. **Introdução a mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill Book Company, 1981.

YONG, R.N., et al. Principles of contaminant transport in soils. **Development in Geotechnical Engineering**, Netherlands: Elsevier Science Publishers, 73, 327p., 1992.