

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

EDGAR MANUEL MIRANDA SAMUDIO

Estudo de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos

- Estudo de Caso no Município de Itapira /SP

São Paulo

2022

Estudo de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos

- Estudo de caso no Município de Itapira/SP

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas,
Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Profa. Dra. Maria Eugenia Gimenez Boscov

São Paulo

2022

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

Catalogação-na-publicação

Samudio, Edgar Manuel Miranda

Estudo de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos - Estudo de caso no Município de Itapira/SP / E. M. M. Samudio – São Paulo, 2022.
99 p.

Monografia (MBA em Gestão de áreas contaminadas, desenvolvimento sustentável e revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Aterros Sanitários 2.Resíduos Sólidos 3.Resíduos Urbanos
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Maria Eugenia Gimenez Boscov por ter me orientado no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que direta ou indiretamente contribuíram com minha formação profissional.

A minha mãe Rosa Elvira Samudio pelo apoio e confiança oferecida.

A minha avó Antonia Miranda Camarena por ter-me incentivado e orientado durante toda minha infância.

A todos meus amigos Brasileiros e Panamenhos por sempre apoiar minhas decisões.

RESUMO

Samudio, Edgar Manuel Miranda. Estudo de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos urbanos – Estudo de caso no município de Itapira/SP. 2022. 99f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Esta monografia objetivou investigar os métodos vigentes nas normativas brasileiras e do Estado de São Paulo para determinação de passivos ambientais em áreas de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos. Esses métodos foram aplicados em um antigo aterro sanitário operado entre 1999 e 2020, no município de Itapira, SP. Foi feito um estudo de literatura técnica, documental e de normativas nacionais. A seguir, realizaram-se a avaliação preliminar e a investigação confirmatória para caracterizar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais devidas a problemas construtivos e/ou operacionais. Foram consultados documentos obtidos na CETESB, IPT e SAM/Itapira e realizados trabalhos de campo. O estudo mostrou que os métodos vigentes são instrumentos adequados para o gerenciamento de áreas contaminadas por RSU; que na área de estudo existe pouca contaminação, circunscrita a alguns pontos; e que os dados de monitoramento ambiental podem ser utilizados na investigação confirmatória.

Palavras-chave: Aterros Sanitários, Resíduos Sólidos e Resíduos Urbanos.

ABSTRACT

Samudio, Edgar Manuel Miranda. Study of environmental liabilities in areas of final disposal of urban waste – Case study in the municipality of Itapira. 2022. 99f. Monograph (MBA in Management of Contaminated Areas, Sustainable Urban Development and Revitalization of Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

This monograph aimed to investigate the methods in force in Brazilian regulations and in the State of São Paulo for the determination of environmental liabilities in areas of inadequate disposal of municipal solid waste (MSW). These methods were applied in an old sanitary landfill operated between 1999 and 2020, in the municipality of Itapira, SP. A study of technical literature, documents and national regulations was carried out. Next, a preliminary assessment and confirmatory investigation were carried out to characterize groundwater and surface water contamination due to construction and/or operational problems. Documents obtained from CETESB, IPT and SAMA/Itapira were consulted and field work was carried out. The study showed that the current methods are adequate instruments for the management of areas contaminated by MSW; that in the study area there is little contamination, limited to a few points; and that environmental monitoring data can be used in confirmatory investigation.

Keywords: Environmental liabilities. Urban solid waste. Preliminary assessment. Confirmatory investigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de RSU no Brasil	16
Figura 2 - Geração de RSU no Brasil e Regiões (kg/hab/dia)	17
Figura 3 – Coleta de resíduos sólidos no Brasil e por Regiões (total e per capita).....	17
Figura 4 - Porcentagem de cobertura de coleta de RSU no Brasil e Regiões	18
Figura 5 - Índice de Cobertura de coleta de RSU no Brasil por Regiões no ano 2020	18
Figura 6 - Quantidade de municípios com coleta seletiva em 2019 e 2010.....	19
Figura 7 - Disposição final de RSU, por tipo de destinação (toneladas/dia)	20
Figura 8 – Massa (t) e porcentagem de resíduos unidades em disposição adequada e inadequada em 2010 e 2019...20	20
Figura 9 - Disposição final adequada X inadequada de RSU no Brasil em 2020 (t/ano)	21
Figura 10 - Mecanismos de decomposição da matéria orgânica e formação de gases.....	24
Figura 11 – Fases de geração de gases em aterros sanitários.....	25
Figura 12 - Fluxograma de avaliação de passivo ambiental	34
Figura 13 - Fluxograma da etapa de avaliação preliminar.....	36
Figura 14 - Principal rota do centro da cidade até o empreendimento.....	48
Figura 15 - Carta topográfica da área de estudo	51
Figura 16 – Esquema do levantamento planialtimétrico georreferenciado da situação da gleba (2019) e projeção dos resíduos.....	52
Figura 17 - Geologia da região de Itapira	54
Figura 18 - Mapa potenciométrico da área estudada e seu entorno	60
Figura 19 - Mapa de potencial espontâneo da área de estudo.....	62
Figura 20 – Mapa de condutividade elétrica do terreno (0 até 15 m)	63
Figura 21 - Mapa de condutividade elétrica na área do aterro, correspondente a um volume de investigação mais profundo (0 a 30 m).....	64
Figura 22 - Seção sísmica da linha realizada próximo ao poço localizado à jusante do aterro sanitário antigo	65
Figura 23 - Modelo conceitual da área de disposição de resíduos.....	75
Figura 24 - Mapa de localização dos poços de monitoramento de águas subterrâneas e gases.	77
Figura 25 - Localização dos poços de monitoramento.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disposição final de RSU nas Regiões, por tipo de destinação (t/ano) - 2019.....	22
Tabela 2 – Disposição final de RSU no Brasil e Regiões, por tipo de destinação (t/ano - 2020).....	22
Tabela 3 - Composição básica do biogás produzido em aterros sanitários	27
Tabela 4 - Composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros	30
Tabela 5 - Parâmetros indicadores de contaminação – Listagem completa.....	31
Tabela 6 - Direção, elevação e inclinação de eixos selecionados da Figura 16	52
Tabela 7 - Resultados da análise granulométrica.....	57
Tabela 8 - Cargas hidráulicas obtidas nas sondagens/poços de monitoramento.....	58
Tabela 9 - Resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade acima do nível d’água	59
Tabela 10 - Resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade abaixo do nível d’água	59
Tabela 11 - Principais eventos e cronologia de ocorrência do empreendimento	67
Tabela 12 – Prioridade e validação dos focos poluidores.....	73
Tabela 13 – Potencial de contaminação do efluente para os meios físicos.....	73
Tabela 14 - Prioridade em relação a toxicidade, mobilidade e quantidade de substâncias.....	74
Tabela 15 - Indicação da instalação dos poços de coleta de gases.....	78
Tabela 16 - Resultado das análises do biogás.....	78
Tabela 17 – Localização dos poços de monitoramento das águas subterrâneas	80
Tabela 18 – Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas realizadas em 2014	82
Tabela 19 - Principais características físicas e hidráulicas (2019) dos poços de monitoramento das águas subterrâneas.	83
Tabela 20 - Resultado das análises que superaram os limites MS 2914 e DD/256-CETESB	84
Tabela 21 -Resultados das amostras de águas subterrâneas em 2020.....	86
Tabela 22 – Resultados obtidos nas análises realizadas em águas superficiais em 2020.....	87
Tabela 23 – Resultados obtidos nas análises do lixiviado realizada em 2020,	88

Lista de Fotos

Foto 1 - Localização da área de estudo.....	47
Foto 2 - Distâncias entre o Aterro Sanitário as edificações e corpos de água.....	49
Foto 3 - Vista da plantação de cana-de-açúcar e a esquerda parte do platô da área em estudo	50
Foto 4 - Afloramento rochoso adjacente à área de estudo, mostrando fraturamento sub- vertical	55
Foto 5 - Padrões de boudinagem em horizontes quartzosos	56
Foto 6 - Estruturas preservadas das rochas cristalinas em solo residual	56
Foto 7 – Imagem mostrando o mapa potênciométrico sobreposto na área de estudo e entorno	61
Foto 8 - Platô superior do aterro sanitário antigo mostrando as frentes de trabalho (setembro de 2019).....	68
Foto 9 - Platô superior do aterro sanitário antigo (outubro de 2019).....	68
Foto 10 - Estrada de circulação interna do aterro sanitário antigo (01/10/2019).....	69
Foto 11 - Maciço de resíduos na área em estudo (01/10/2019)	69
Foto 12 - Frente de trabalho no aterro sanitário antigo (02/10/2019)	70
Foto 13 - Afloramento de lixiviado nos taludes do maciço (01/10/2019)	70
Foto 14 - Afloramento de lixiviado	71
Foto 15 - Escoamento de lixiviados nos taludes do maciço de resíduos – situação em 2021	71
Foto 16 - Platô superior do aterro sanitário antigo - situação em dezembro de 2021	72
Foto 17 - Localização dos poços de monitoramento das águas subterrâneas	81

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

AP - Área com Potencial de Contaminação

AS - Área com Suspeita de Contaminação

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DD – Decisão da Diretoria

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EM – Eletromagnético

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MC – Modelo Conceitual

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SQI – Substância Química de Interesse

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
3.	JUSTIFICATIVA	15
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	Panorama	16
4.2	Principais efluentes de emissão de contaminantes em áreas de disposição de resíduos.	23
4.2.1	Gases	24
4.2.2	Material particulado	28
4.2.3	Lixiviado	29
4.2.4	Ruído	32
4.3	Riscos à Saúde Pública.	32
4.4	Avaliação do passivo ambiental	33
4.4.1	Avaliação Preliminar	35
4.4.2	Investigação confirmatória	39
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	45
6.	RESULTADOS – INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR	47
6.1	Aspectos gerais	47
6.2	Localização da área de estudo	47
6.3	Caracterização da área de estudo	48
6.4	Levantamento de dados sobre o meio físico da área	54
6.4.1	Caracterização geológica e geotécnica	54
6.4.2	Geologia regional	54
6.4.3	Geologia local	55

6.4.3.1	Aspectos Geotécnicos	57
6.4.3.2	Aspectos hidrogeológicos	57
6.4.3.3	Recursos hídricos superficiais	65
6.4.3.4	Caracterização climatológica	66
6.5	Levantamento de dados administrativos e histórico da área	66
6.6	Situação atual do local	67
6.7	Validação dos focos	73
6.8	Desenvolvimento de modelo conceitual preliminar	74
7.	RESULTADOS – INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	76
7.1	Plano de investigação confirmatória	76
7.2	Investigação da qualidade dos gases	76
7.3	Investigação da qualidade das águas subterrâneas	80
7.4	Investigação da qualidade das águas superficiais	87
7.5	Investigação realizada no lixiviado	88
7.6	Discussão e Interpretação dos resultados das análises	89
8.	CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	93
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1. INTRODUÇÃO

Antes de abordar detalhes sobre o estudo e a investigação realizada apresentam-se definições da evolução das variantes das técnicas utilizadas para disposição de resíduos no solo. A técnica atualmente aceita é o aterro sanitário, que segundo a norma ABNT NBR 8.419/92, trata-se de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permitível, cobrindo-os com uma camada de terra no final de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. São obras complexas de engenharia.

Outra técnica muito difundida são os aterros controlados que consistem numa técnica de confinamento dos resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte no final de cada jornada de trabalho, sem impermeabilização de base (comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas e superficiais). Também, não há sistema de coleta e tratamento de percolado e nem extração e queima controlada dos gases gerados. O aterro controlado foi uma solução rápida utilizada para disposição de resíduos no solo sem implementação completa dos sistemas de controle ambiental.

O lixão é uma forma inadequada e condenável de disposição dos resíduos no solo a céu aberto, sem nenhuma proteção com o meio ambiente e a saúde pública.

Em uma área localizada na região norte do interior de São Paulo, no município de Itapira, foram depositados Resíduos Sólidos Urbanos desde 1998 até outubro de 2020. Devido à não implantação de sistemas de controle ambiental, foi necessária a realização de avaliação preliminar e investigações para averiguar a existência de passivos ambientais de forma a permitir um adequado encerramento. Este empreendimento, apesar de ter funcionado no passado como aterro sanitário, quando de seu fechamento, mais se caracterizava como sendo um aterro controlado. Inicialmente a impermeabilização era realizada com utilização de solo argiloso, sem o uso de geomembranas. Cabe destacar também que está área não está na relação de áreas contaminadas publicada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

O projeto de encerramento e recuperação da área deverá atender a uma série de exigências técnicas, entre as quais projetar e implementar uma configuração geométrica de platôs, taludes e bermas que garantam a estabilidade do maciço, e sistemas de drenagem de águas pluviais, líquidos percolados e gases. Também será projetado e implementado um plano de monitoramento

geotécnico e ambiental que deverá ser operado por tempo mínimo de 20 anos, ou até que os resultados das análises laboratoriais e de campo demonstrem estar a área livre de poluição.

A investigação dos passivos ambientais seguiu os procedimentos recomendados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB e destacadamente a Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, que exige efetuar uma avaliação preliminar, com elaboração de modelo conceitual, e uma investigação confirmatória, com elaboração de um relatório de comunicação à CETESB dos resultados das investigações realizadas.

Esta monografia dá ênfase à investigação de passivos ambientais nesta área de disposição de resíduos sólidos urbanos. Para a consecução dos objetivos específicos, foram realizados levantamentos de dados na literatura técnica e em estudos e projetos existentes. Também foram consultados levantamentos topográficos anteriores e resultados de análise de gases, águas subterrâneas, águas superficiais realizadas em poços de monitoramento existentes dentro da área e pontos de monitoramento localizados em córrego adjacente ao empreendimento.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta monografia é investigar os métodos vigentes nas normativas brasileiras e do Estado de São Paulo para determinação de passivos ambientais em áreas de disposição inadequada de resíduos.

Os objetivos específicos são: Aplicação dos métodos vigentes em um estudo de caso, para verificar a existência de passivos ambientais numa área de disposição de resíduos em um município da região norte do interior de São Paulo.

- Caracterização de problemas construtivos e/ou operacionais na área de estudo.
- Caracterização da presença de contaminação no solo e na água subterrânea e migração de gases na área de estudo.
- Análise das normativas vigentes com base na experiência do estudo de caso.

3. JUSTIFICATIVA

Este estudo se justifica pelos seguintes motivos:

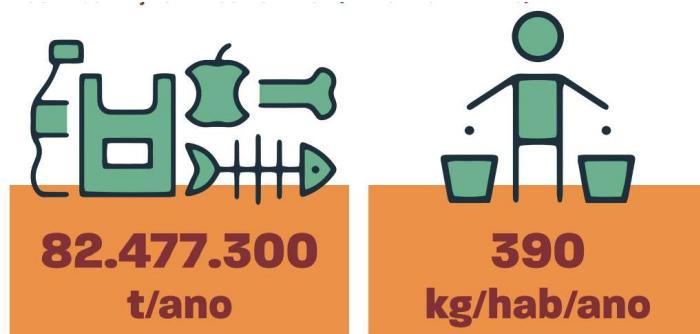
- A existência de grande número de áreas em todo Brasil onde foram dispostos inadequadamente resíduos sólidos oriundos de atividades urbanas e rurais.
- A necessidade de proteger o solo e os recursos hídricos, que são vitais para a saúde pública e ambiental.
- A necessidade de capacitação técnica de recursos humanos para atuar nessas atividades.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Panorama

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. – ABRELPE (2021) indica que no Brasil, em 2020, foram geradas 82,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), contra 57,0 milhões de toneladas geradas em 2010. A geração per capita anual atingiu em 2020 a quantia de 390,0 quilogramas contra 379,2 quilogramas em 2019 (Figura 1). Esses números em nível nacional indicam que cada brasileiro gerou em torno de 1,067 quilograma de resíduo por dia.

Figura 1 - Geração de RSU no Brasil

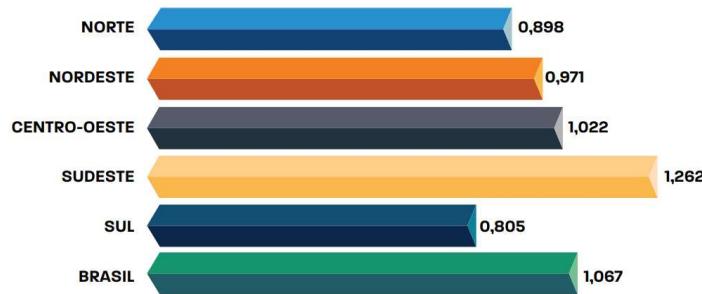


Fonte: ABRELPE (2021)

ABRELPE (2021) também destaca que a região com maior geração de resíduos continua sendo a Sudeste, com cerca de 113 mil toneladas diárias ou seja 41,3 milhões de toneladas por ano (50% do total) e 1,262 kg/hab/dia, enquanto a região Norte gera aproximadamente 7,4% do total, com cerca de 6 milhões de toneladas/ano e 0,898 kg/hab/dia (Figura 2).

Na Figura 1 e Figura 2 pode-se também observar a massa per capita de resíduos produzidos em nível nacional e por regiões (390,0 kg/hab.ano ou 1,067 kg/hab.dia) e na Figura 3, a massa coletada em nível nacional (359,3 kg/hab.ano) e por regiões.

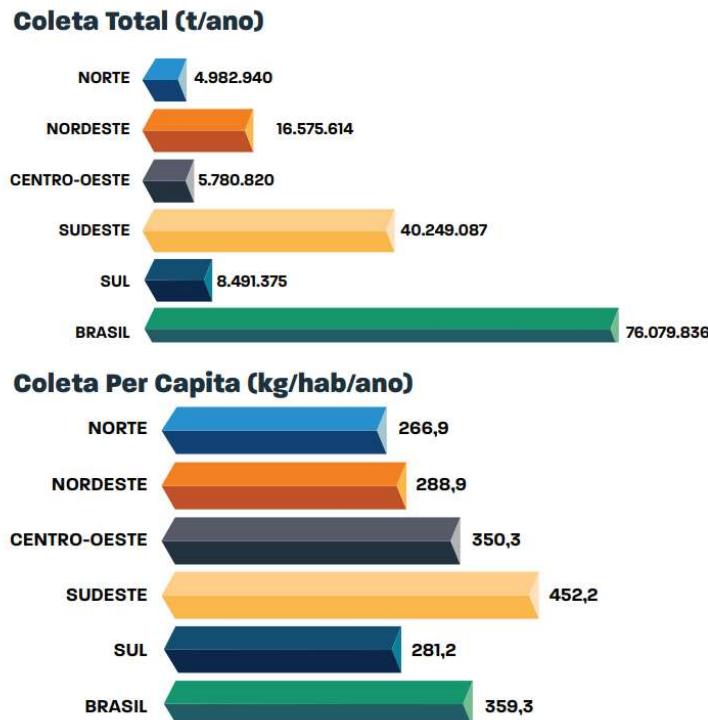
Figura 2 - Geração de RSU no Brasil e Regiões (kg/hab/dia)



Fonte: ABRELPE (2021)

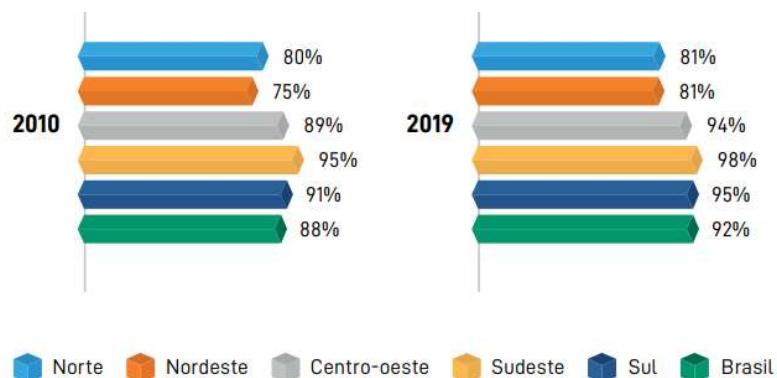
Segundo ABRELPE (2021), em 2020 houve um aumento na geração dos resíduos domiciliares e consequentemente na oferta dos serviços de limpeza urbana, levando a um total de 76,1 milhões de toneladas coletadas nesse ano, o que implica em uma cobertura de coleta de 92,2% considerando o total gerado (Figura 3). Isso indica que a cobertura de coleta de RSU mudou pouco em relação a 2019, porém melhorou muito em relação a 2010 (Figura 4 e Figura 5).

Figura 3– Coleta de resíduos sólidos no Brasil e por Regiões (total e per capita)



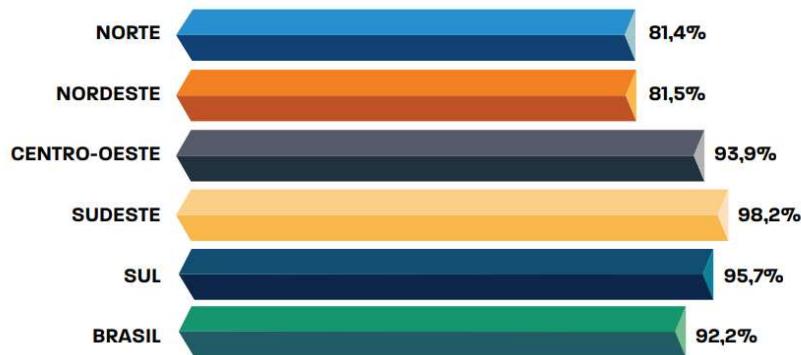
Fonte: ABRELPE (2021)

Figura 4 - Porcentagem de cobertura de coleta de RSU no Brasil e Regiões



Fonte: ABRELPE (2020)

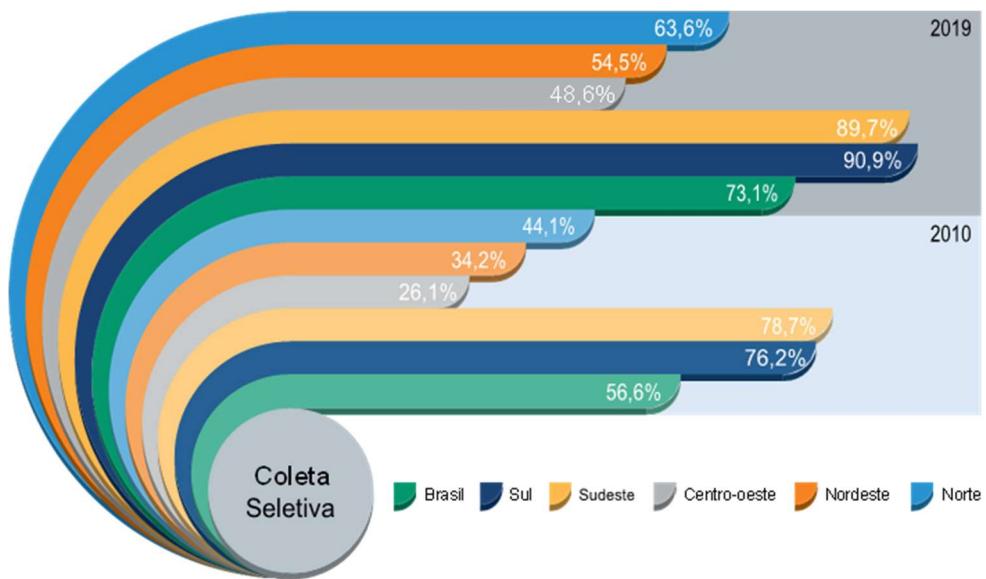
Figura 5 - Índice de Cobertura de coleta de RSU no Brasil por Regiões no ano 2020



Fonte: ABRELPE (2021)

Em 2010, 3.152 municípios registravam alguma iniciativa de coleta seletiva (representando 56,6% do total), e em 2019, essa porcentagem subiu para 73,1%. Em 2020 o número de municípios aumentou para 4.145, o que representa 74,4 % dos municípios do país; porém, a coleta seletiva geralmente não abrange a totalidade da área urbana, podendo representar iniciativas pontuais (ABRELPE, 2020). A Figura 6 ilustra a evolução de iniciativas de coleta seletiva no país e por região entre 2010 e 2019.

Figura 6 - Quantidade de municípios com coleta seletiva em 2019 e 2010



Fonte: ABRELPE (2020)

Como já citado, observa-se que em nível nacional a porcentagem em 2019 atingiu 73,1% dos municípios, e que os valores variam de 48,6% a 90,9%, sendo menor a porcentagem no centro-oeste e a maior na região sul. A porcentagem de cidades que adotam a coleta seletiva vem crescendo em todo o país, tendo ocorrido em uma década um aumento de 16,5 % (passando de 56,6% para 73,1%). As regiões sul e sudeste são as que apresentam maior porcentagem de municípios que reciclam, enquanto merece destaque o aumento em uma década da porcentagem de municípios que reciclam nas regiões nordeste e centro-oeste, que tiveram aumento de 8% e 9%, respectivamente. Embora o número de municípios que praticam algum tipo de coleta seletiva venha aumentando, não existem informações confiáveis da quantidade de RSU efetivamente reciclada.

Segundo a ABRELPE (2020), do total de resíduos coletados no Brasil em 2019, 59,5% tiveram disposição final em aterros sanitários, ou seja, de forma adequada. Isso representou 2,7% a mais que em 2010. Porém, os lixões e aterros controlados ainda estão presentes em todas as regiões com participação significativa (23,0% e 17,5%, respectivamente) em 2019, como pode ser observado na (Figura 7). A Figura 7 também mostra a massa de resíduos encaminhados no ano 2010 e 2019 a essas unidades de disposição. A Figura 8 e a Figura 9 ilustram a evolução da destinação em unidades adequadas e inadequadas dos RSU coletados no Brasil. Fazendo-se um comparativo entre

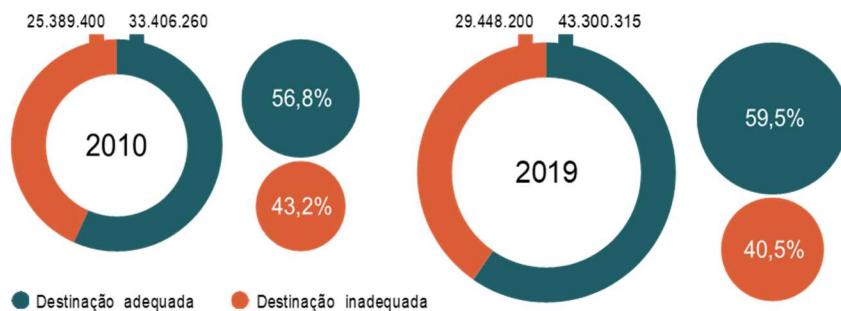
os anos 2010 e 2019, observa-se que houve uma melhoria na disposição, passando de 56,6% para 59,5% nesse período, e que no ano 2020 a destinação adequada atingiu 60,2% (Figura 9).

Figura 7 - Disposição final de RSU, por tipo de destinação (toneladas/dia)



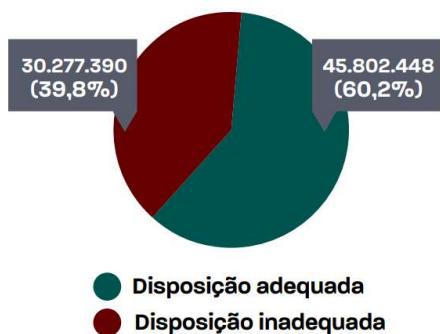
Fonte: ABRELPE (2020)

Figura 8 – Massa (t) e porcentagem de resíduos unidades em disposição adequada e inadequada em 2010 e 2019



Fonte: ABRELPE (2020)

Figura 9 - Disposição final adequada X inadequada de RSU no Brasil em 2020 (t/ano)



Fonte: ABRELPE (2021)

A Lei nº 12.305/2010 estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS prevê a disposição final como sendo uma alternativa adequada para os RSU, porém devem ser observadas as normas específicas de engenharia para projeto, implantação, operação, manutenção e monitoramento de modo a evitar impactos adversos (danos ou riscos) à saúde ambiental, à saúde pública e à segurança.

Segundo ABRELPE (2020), na década de 2010 a 2019 foi registrado um aumento de 10 milhões de toneladas de RSU dispostos em aterros sanitários, passando de 33 milhões de toneladas por ano para 43 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 30%. Já em 2020 eram encaminhados cerca de 46 milhões de toneladas para essas unidades de tratamento, superando a marca dos 60% dos resíduos coletados. Por outro lado, a quantidade de resíduos que são enviadas para lixões e aterros controlados também cresceu, passando de 25 milhões de toneladas por ano para pouco mais 29 milhões de toneladas por ano entre a década de 2010 a 2020. Ainda cerca de 40% do total de resíduos coletados são enviados para áreas inadequadas, que são os lixões e aterros controlados. Outra observação é que os índices de reciclagem, nesses dez anos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, permanecem em patamares inferiores a 4% na média nacional.

Na Tabela 1 observa-se que a maioria dos aterros controlados e lixões está concentrada no sudeste e nordeste do Brasil. Já na Tabela 2 observa-se que a disposição inadequada está concentrada no norte e nordeste do país, diferente da região sudeste e sul do país, que tem os resíduos dispostos de forma mais adequada.

Tabela 1 - Disposição final de RSU nas Regiões, por tipo de destinação (t/ano) - 2019

Região	2010			2019		
	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
Norte	1.165.810	1.015.795	1.348.675	1.683.745	1.421.675	1.664.765
Nordeste	4.314.300	4.312.110	4.486.215	5.686.700	5.255.270	5.031.525
Centro-Oeste	1.272.025	2.217.010	1.036.235	2.252.415	1.957.860	1.243.190
Sudeste	22.166.085	5.322.065	3.639.780	28.121.425	6.653.220	3.906.960
Sul	4.488.040	1.170.555	840.960	5.556.030	1.440.290	873.445
Brasil	33.406.260	14.037.535	11.351.865	43.300.315	16.727.950	12.720.250

ABRELPE (2020)

Tabela 2 – Disposição final de RSU no Brasil e Regiões, por tipo de destinação (t/ano - 2020)

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.773.927	35,6%	3.209.013	64,4%
Nordeste	6.016.948	36,3%	10.558.666	63,7%
Centro-Oeste	2.456.849	42,5%	3.323.972	57,5%
Sudeste	29.542.830	73,4%	10.706.257	26,6%
Sul	6.011.894	70,8%	2.479.482	29,2%
Brasil	45.802.448	60,2%	30.277.390	39,8%

ABRELPE (2021)

A Lei nº 14.026/2020, que estabelece o novo marco regulatório do saneamento básico, postergou o prazo para o fim dos lixões estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que era 2014. De acordo com a nova lei, as Prefeituras teriam até 31 de dezembro de 2020 para elaborar o plano de gestão dos resíduos sólidos e garantir o descarte correto dos RSU. Essa lei não faz grandes modificações nas diretrizes já previstas na PNRS, mas torna os prazos abrangentes para o cumprimento da meta de eliminar os lixões no País. A principal mudança feita pelo novo marco em relação ao descarte do RSU é que as capitais e regiões metropolitanas terão até 2 de agosto de 2021 para acabar com os lixões, enquanto cidades com mais de 100 mil habitantes terão

até agosto de 2022. Já cidades com população entre 50 e 100 mil habitantes terão até 2023 e municípios com menos de 50 mil habitantes terão até 2024.

Em nível nacional o Estado de São Paulo é o que mais evolui em termos de adequação das áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos. Em 2020 na relação de áreas contaminadas cadastradas pela CETESB (2020):

- Das 1463 áreas cadastradas em processo de remediação 25 tinham como fonte de poluição atividades de descarte / disposição de resíduos.
- Das 1902 áreas cadastradas reabilitadas para uso declarado 36 tinham como fonte de poluição atividades de descarte / disposição de resíduos.
- Das 780 áreas cadastradas com risco confirmado 41 tinham como fonte de poluição atividades de descarte / disposição de resíduos.
- Das 285 áreas cadastradas em processo de reutilização 22 tinham como fonte de poluição atividades de descarte / disposição de resíduos.
- Das 635 áreas cadastradas sob investigação 32 tinham como fonte de poluição atividades de descarte / disposição de resíduos.

A área estudada não aparece nesta relação.

Levando em conta esse panorama nacional fica evidente que existe uma quantidade elevada de áreas ocupadas por lixões e aterros controlados, com probabilidade de estar contaminados ou poluídos por lixiviados, gases e material particulado, que podem conter e transportar substâncias químicas de interesse. Consequentemente essas áreas deverão ser avaliadas e investigadas para verificar existência de contaminação ou poluição, evitando risco à saúde pública e ambiental e a segurança desses locais e seu entorno.

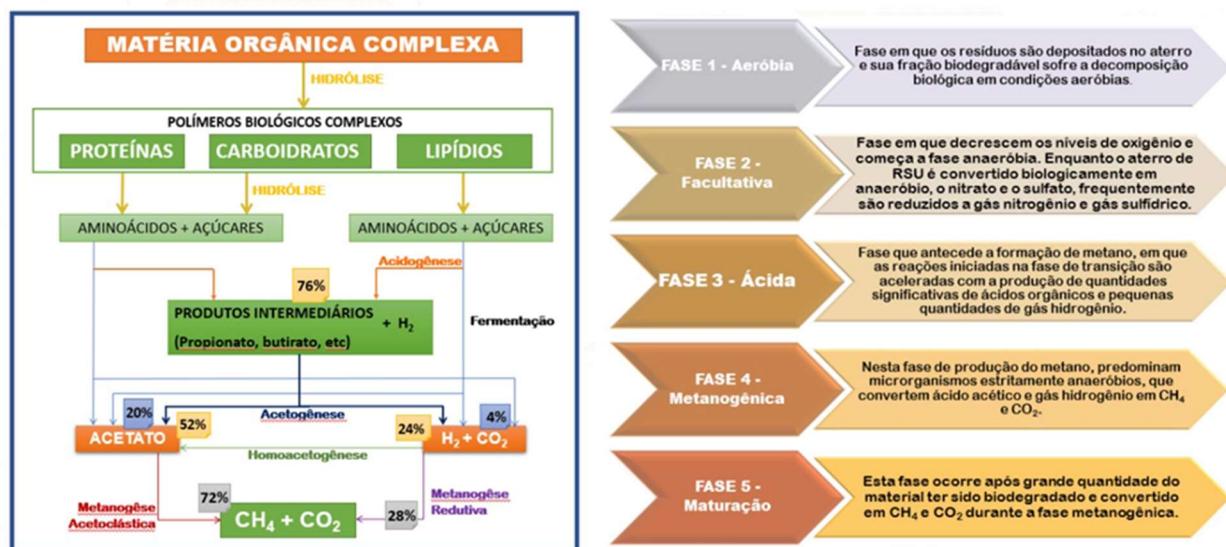
4.2 Principais efluentes de emissão de contaminantes em áreas de disposição de resíduos.

Durante a decomposição dos RSU em áreas de disposição final são gerados gases e líquidos, denominados biogás e lixiviado, respectivamente.

Em aterros sanitários o biogás produzido é coletado e transportado geralmente para incineradores individuais, com uso de drenos verticais e chaminés ou incinerador coletivo. Neste

último torna-se necessário complexas redes de coleta e transporte assim como uso de dispositivos e acessórios para controle. E os líquidos percolados coletados e transportados por gravidade ou recalque para locais onde são armazenados ou tratados no próprio local em lagoas de estabilização ou enviados para Estações de Tratamento de Esgotos. Os gases gerados são constituídos por gás metano e dióxido de carbono e são os principais responsáveis pelo aquecimento global e consequente efeito estufa. Já os líquidos produzidos por lixiviação são os principais responsáveis pela contaminação do solo e os recursos hídricos. Em aterros controlados esses efluentes geralmente ficam confinados em bolsões e podem gerar instabilidade no maciço de RSU. Em Lixões não existe nenhum controle desses efluentes e os gases geralmente contribuem para existência de fogos. A Figura 10 ilustra os mecanismos de decomposição da matéria orgânica e formação de gases.

Figura 10 - Mecanismos de decomposição da matéria orgânica e formação de gases

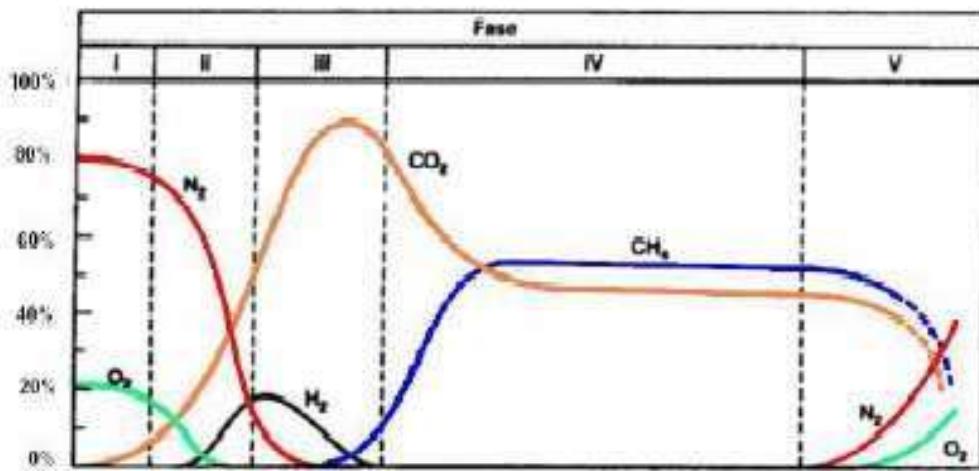


Fonte: BORBA (2006) modificada por CAMILA e SAMUDIO (2022)

4.2.1 Gases

Os gases gerados por ação biológica são, principalmente o metano e dióxido de carbono, em concentrações variáveis ao longo da operação e vida do aterro de resíduos e que dependem principalmente da idade e da natureza dos resíduos (LIPOR, 2008 apud FARIA, 2010). Tchobanoglous et al. (1997) apud BORBA (2006) explicam que a geração de gás em aterros sanitários ocorre em cinco fases, as quais estão ilustradas na Figura 11.

Figura 11 – Fases de geração de gases em aterros sanitários



Fonte: Tchobanoglous et al. (1997) apud BORBA, 2006, p. 9.

Fase I: Ajuste inicial. Fase em que os resíduos são depositados no aterro e sua fração biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias. A fonte principal de microrganismos aeróbios e anaeróbios, responsável pela decomposição dos resíduos, é o solo empregado na cobertura diária e final. Outras fontes de microrganismos podem ser o lodo de estações de tratamento de esgotos, depositado em alguns aterros de RSU, e a recirculação do chorume. Esta fase, em que a decomposição é aeróbia, se estende por um período de poucos dias após a execução da camada de cobertura, diminuindo a presença de oxigênio.

Fase II: Transição. Fase em que decrescem os níveis de oxigênio e começa a fase anaeróbia. Enquanto o aterro de RSU é convertido em anaeróbio, o nitrato e o sulfato, que podem servir como receptores de elétrons em reações de conversão biológica, frequentemente são reduzidos a gás nitrogênio e gás sulfídrico. O início das condições anaeróbias pode ser verificado através do potencial de oxirredução do resíduo. Com a queda do potencial de óxido-redução, os microrganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO₂ dentro do aterro.

Fase III: Ácida. Fase que antecede a formação de metano, em que as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e

pequenas quantidades de gás hidrogênio. A acidogênese envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com baixa massa molecular, como o ácido acético (CH_3COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante a fase III. Também serão produzidas quantidades menores de hidrogênio. Os microrganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias e facultativas. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO) e a condutividade elétrica do chorume aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. O pH do chorume, se este é formado, é muito baixo (4 – 5), devido à presença de ácidos orgânicos e pelas elevadas concentrações de CO_2 dentro do aterro. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados são solubilizados.

Fase IV: Metanogênica: Nesta fase de produção do metano, predominam microrganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em CH_4 e CO_2 . A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase ascende a valores na faixa de 6,8 a 8,0. A seguir o pH continua subindo e são reduzidas as concentrações de DBO5, DQO e o valor da condutividade elétrica do chorume. Com valores mais elevados de pH, menos constituintes inorgânicos permanecem dissolvidos, tendo como consequência a redução da concentração de metais pesados no chorume.

Fase V: Maturação. Esta fase ocorre após grande quantidade do material ter sido biodegradado e convertido em CH_4 e CO_2 durante a fase metanogênica. Como a umidade continua migrando pela massa de lixo, porções de material biodegradável até então não disponíveis acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro de resíduos são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro de resíduos, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás gerado.

A duração de cada fase de geração de gás variará conforme a distribuição dos componentes orgânicos no aterro de resíduos, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, a passagem de umidade pelo aterro de resíduos e o grau de compactação inicial (BORBA, 2006)

Em condições normais, a velocidade de decomposição, medida através da produção de gás, chega a um máximo nos dois primeiros anos e logo decresce lentamente por 25 anos ou mais. O dióxido de carbono apresenta uma densidade superior à do ar e elevada solubilidade na água, portanto sua drenagem natural está associada ao fluxo dos lixiviados. O metano, por sua vez, é mais leve que o ar e tende a ascender por difusão através da massa de resíduos (LIPOR, 2008). O biogás captado, quando queimado na boca do dreno vertical, pode atingir temperaturas da ordem de 1200 °C (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000), pois o poder calorífico do biogás é aproximadamente 6 kWh/m³ (BRITO FILHO, 2005).

Os gases emitidos pelos aterros sanitários causam vários impactos, tanto nas regiões circunvizinhas como impactos globais. Em escala local, esses gases podem gerar incômodos pelo mau cheiro e problemas de saúde. Em escala global, causam o aumento do efeito estufa e aquecimento global. Essas emissões continuam por um longo período após o encerramento das atividades. A Tabela 3 mostra a composição básica do biogás produzido em aterro de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 3 - Composição básica do biogás produzido em aterros sanitários

Componente	Porcentagem (base seca)
Metano	45 – 60
Dióxido de Carbono	40 – 60
Nitrogênio	2 – 5
Oxigênio	0,1 - 1,0
Enxofre, Mercaptanas	0 - 1,0
Amônia	0,1 - 1,0
Hidrogênio	0 - 0,2
Monóxido de Carbono	0 - 0,2
Gases em menor concentração	0,01 - 0,6

Fonte: LANDGEM apud SUSTEN CENTRISTA (2017)

O metano (CH₄) é produzido na biodegradação anaeróbia da matéria orgânica e sua concentração em aterros de RSU varia de 45 a 60%. O metano possui um maior potencial de aquecimento global quando comparado ao dióxido de carbono. Isso ocorre devido ao alto coeficiente de absorção por radiação ultravioleta e longa residência na atmosfera (LANDGEM apud SUSTEN CENTRISTA, 2017).

O dióxido de carbono (CO₂) é a principal forma gasosa do carbono. Este gás é produzido na biodegradação da matéria orgânica tanto aerobiamente como anaerobiamente. Por este motivo é um dos principais gases produzidos. A concentração de CO₂ no biogás varia de 40% a 60% (LANDGEM apud SUSTEN CENTRISTA, 2017)

Além do dióxido de carbono e metano, são produzidos também diversos compostos orgânicos não metanogênicos (NMOC). O principal NMOC é o sulfeto de hidrogênio (H₂S), um gás incolor, de cheiro desagradável característico, que devido a sua toxidez é capaz de irritar os olhos e/ou atuar no sistema nervoso e respiratório, podendo matar, de acordo com a concentração, um ser humano em questão de minutos. Tem odor de alho ou de ovo podre, que é uma característica problemática pelo incômodo que pode causar à sociedade vizinha (FARIA, 2010).

Os gases de aterros de RSU possuem uma variedade de compostos orgânicos traços, que juntos constituem 1% do volume do biogás. Alguns estudos detectaram entre 100 e 200 compostos diferentes. Esses compostos são subprodutos de processos químicos e biológicos que ocorrem na massa de resíduos e consistem dos compostos oxidados do carbono como: álcool, acetona, ácidos orgânicos, furanos e compostos sulfurados.

4.2.2 Material particulado

Em um local de disposição de RSU sem cobertura pode ocorrer o espalhamento do material de baixa densidade disposto no aterro sanitário até áreas circunvizinhas ou para longas distâncias. É o caso de plásticos, que podem ser levados pelo vento a longas distâncias, causando impacto visual na vegetação e podendo inclusive provocar a morte de animais. Também ocorre formação de poeira devido à ação do vento e à movimentação de veículos e maquinários. Material particulado também pode ser carregado pelos vetores tais como aves, roedores e animais domésticos.

4.2.3 Lixiviado

Segundo SISINNO & ROSÁLIA (2000), em aterros de RSU é gerado um efluente líquido denominado lixiviado, que é um subproduto do processo de degradação dos resíduos orgânicos e da solubilização e carregamento de materiais pela água de chuva que infiltra na massa de resíduos. Esse lixiviado carreia materiais em suspensão e dissolvidos com alto potencial de contaminação, geralmente contém metais pesados e altos níveis de DBO e DQO, cuja concentração varia em função dos tipos de resíduos aterrados e com a idade de operação do aterro de RSU. Trata-se de um efluente líquido de difícil tratamento.

No início da operação de um aterro de RSU observa-se que o lixiviado tem pH levemente ácido, devido à oxidação de carboidratos e gorduras e consequente formação de ácidos orgânicos. Essa característica vai se alterando pela degradação e escassez dessas substâncias e inicia-se outro ciclo de reações envolvendo a hidrólise de proteínas. Nessa fase o pH aumenta em média para 8,5, gerando altas concentrações de nitrogênio amoniacal, prejudicando o crescimento celular e impedindo a conversão do nitrogênio em nitrato e seu subsequente uso como macronutrientes. Outras substâncias como sulfetos, também presentes no lixiviado, seguem a mesma sequência de transformações (SISINNO & ROSÁLIA, 2000). Na Tabela 4 apresenta-se a composição típica do lixiviado de aterros de RSU brasileiros.

Tabela 4 - Composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros

Parâmetro	Faixa de variação
pH	5,7 - 8,6
Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	750 - 11.400
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	95 - 3.100
Condutividade (μ S/cm)	2950 - 2.500
DBO (mg/L de O ₂)	< 20 - 30.000
DQO (mg/L de O ₂)	190 - 80.000
Óleos e graxas (mg/L)	10 – 480
Fenóis (mg/L de C ₆ H ₅ OH)	0,9 - 9,9
NTK (mg/L de N)	80 - 3.100
N-amoniacial (mg/L de N)	0,4 - 3.000
N-orgânico (mg/L de N)	5 - 1.200
N-nitrito (mg/L de N)	0 – 50
N-nitrito (mg/L de N)	0 – 11
P-total (mg/L)	0,1 – 40
Sulfeto (mg/L)	0 – 35
Sulfato (mg/L)	0 - 5.400
Cloreto (mg/L)	500 - 5.200
Sólidos totais (mg/L)	3 200 - 21.900
Sólidos totais fixos (mg/L)	630 - 20.000
Sólidos totais voláteis (mg/L)	2 100 - 14 500
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 - 2.800
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	5 – 530
Ferro (mg/L)	0,01 – 260
Manganês (mg/L)	0,04 - 2,6
Cobre (mg/L)	0,005 - 0,6
Níquel (mg/L)	0,03 - 1,1
Cromo (mg/L)	0,003 - 0,8
Cádmio (mg/L)	0 - 0,26
Chumbo (mg/L)	0,01 - 2,8
Zinco (mg/L)	0,01 - 8,0

FONTE: SOUTO E POVINELLI (2007)

Atualmente existe uma forte tendência de enviar os lixiviados de aterros sanitários para Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários operados por concessionárias públicas ou privadas, os parâmetros analisados ou substâncias químicas de interesse são os relacionados no artigo 19^a do Decreto Estadual Paulista 8468. Também podem ser encontrados em lixiviados ou em águas contaminadas parâmetros adicionais constantes na Tabela 5. Esses parâmetros vêm sendo exigidos pela CETESB, tanto para monitoramento das águas subterrâneas como para águas superficiais. No caso particular de Itapira os parâmetros amostrados e sua periodicidade foram relacionados no documento intitulado Parecer Técnico nº. 076/18/IPSR citado na Pasta Técnica do Aterro Controlado de Itapira.

Tabela 5 - Parâmetros indicadores de contaminação – Listagem completa

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS
Condutividade elétrica; Sólidos totais dissolvido; Dureza total; pH; Óleos e graxas; Cor aparente; Turbidez; DBO.
COMPONENTES INORGÂNICOS
Alumínio total; Alumínio dissolvido; Arsénico; Bário; Cádmio; Cobre; Chumbo; Cloretos; Cromo total; Ferro total; Ferro dissolvido; Fosfato total; Magnésio; Manganês total; Manganês dissolvido; Mercúrio; Nitrogênio nitrito; Nitrogênio nitrato; Nitrogênio amoniacal; Nitrogênio kjeldahl; Potássio; Sulfato; Selênio; Sódio; Zinco.
COMPONENTES ORGÂNICOS
BTEX, por faixa; Fenol; Diclorometano; Tricloroetileno; Cloreto de metileno; Cloreto de vinila,
BACTERIOLÓGICOS
Coliformes totais e termotolerante; Pseudomonas aeruginosa; Salmonella; Bactérias heterotróficas; E. Coli

Fonte: CETESB (2005; 2014;2018)

4.2.4 Ruído

Em áreas de disposição de RSU podem ocorrer emissões de ruídos devido à circulação de veículos, uso de equipamentos e maquinários em geral. Para minimizar esses impactos as máquinas, equipamentos e veículos deverão passar por serviços de revisão, manutenção e regulagem periódicas. Deverão ser realizadas campanhas de medições para avaliar a condição dos níveis de ruído e vibração com certa periodicidade. Para mitigar este tipo de impacto, de forma preventiva e corretiva geralmente se implantam medidas tais como cinturão verde e redução da velocidade de veículos e maquinários.

4.3 Riscos à Saúde Pública.

Os principais riscos à saúde pública por destinação inadequada de RSU estão associados ao contato dérmico, à ingestão e inalação de contaminantes e poluentes. Entre as doenças mais comuns citam-se a malformação congênita, intoxicação por gases, mal-estar por poeiras e doenças transmitidas por vetores (ratos, baratas, moscas, escorpiões, aves e outros animais domésticos).

GOUVEIA e PRADO (2010) citam trabalhos (Goldberg, 1995; Goldberg, 1999; Virjheid, 2000; Pukkala, 2001) que mostram a ocorrência de riscos aumentados de incidência de câncer e malformações entre os indivíduos vivendo nas proximidades dos aterros sanitários. Porém, em estudo realizado em populações morando próximo de áreas de disposição de resíduos, no município de São Paulo, esses autores não encontraram evidências consistentes da relação entre a ocorrência de doenças (malformação congênita ou câncer) e a proximidade de aterros de resíduos. Os autores consideram que esses riscos, em geral, são de pequena magnitude e que problemas de ordem metodológica não permitem assegurar que outros fatores não influenciem os resultados.

Segundo esses autores, um estudo de incidência de doenças deve levar em consideração a mensuração das emissões de gases, a contaminação do solo, a contaminação das águas subterrâneas, a contaminação das águas superficiais e o tempo de permanência dos moradores e trabalhadores em suas residências e postos de trabalho. Também deve considerar os mecanismos de transporte dos contaminantes e as diversas rotas de exposição. Outros fatores que devem ser levados em conta são o tempo de exposição, idade, sexo, raça, condição socioeconômica, tabagismo, acesso a serviços de saúde e história ocupacional.

Segundo a OMS apud Gouveia e Prado (2010) para um indivíduo ou população correr perigo, devido aos contaminantes existentes em depósitos de RSU, os mesmos devem estar localizados e

confinados num raio de 1 km, considerando a via aérea e 2 km de distância considerando a via aquática como rota de exposição.

4.4 Avaliação do passivo ambiental

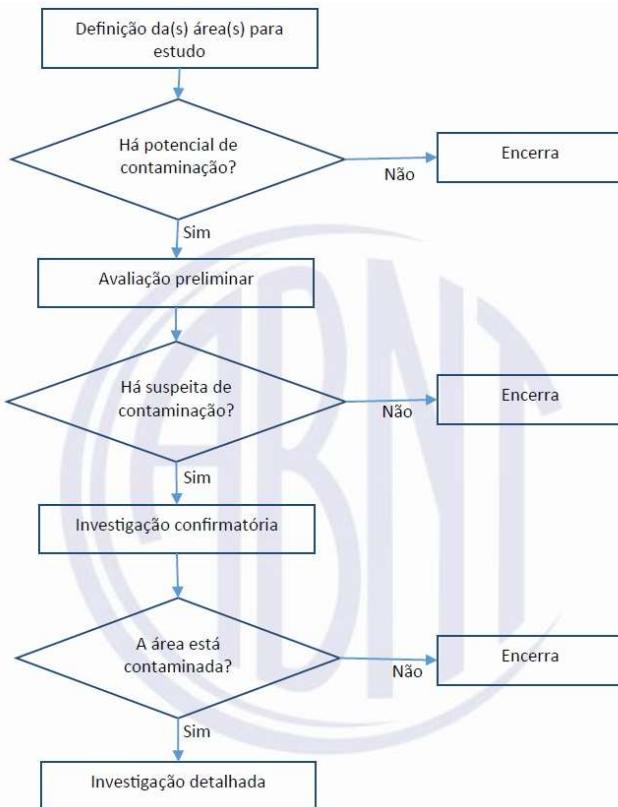
A avaliação do passivo ambiental no Brasil é feita como base na metodologia proposta por vários órgãos, entre eles a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.

Dentro deste tema merecem ser citadas algumas definições contidas no artigo 3 do Decreto Estadual 59.263 de 2013, que regulamenta a Lei 13.577 (a qual dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas):

- Área com Potencial de Contaminação (AP): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde são ou foram desenvolvidas atividades que, por suas características, possam acumular quantidades ou concentrações de matéria em condições que a tornem contaminada.
- Área com suspeita de contaminação (AS): área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria com indícios de ser uma área contaminada conforme resultado da avaliação preliminar.

Na Figura 12 apresenta-se o fluxograma das etapas da avaliação de passivo ambiental recomendado pela NBR 15.515-1 (2011).

Figura 12 - Fluxograma de avaliação de passivo ambiental



Fonte: NBR 15.515-1 (ABNT 2011)

O art. 27º do Decreto Estadual 59.263 (BRASIL, 2013) também merece destaque ao condicionar a obrigatoriedade de realização da Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória ao responsável legal para terrenos enquadrados nos seguintes casos:

- Áreas com Potencial de Contaminação (AP) localizadas em regiões onde ocorreu ou está ocorrendo mudança de uso do solo, especialmente para uso residencial ou comercial;
- Áreas com Potencial de Contaminação (AP) localizadas em regiões com evidências de contaminação regional de solo e de água subterrânea;
- Áreas com Potencial de Contaminação (AP) cuja atividade foi considerada como prioritária para o licenciamento da CETESB.

Segundo a CETESB (2021), os responsáveis legais pelas APs, identificadas e priorizadas, deverão executar a etapa de Avaliação Preliminar, quando o órgão ambiental gerenciador indicar essa necessidade, por meio de exigência técnica efetuada em processos administrativos. Poderão,

também, executá-la espontaneamente quando tiverem interesse em iniciar um processo de reutilização da AP, ou em um processo de desativação da atividade licenciada, ou quando acharem pertinente em seu sistema de gestão ambiental.

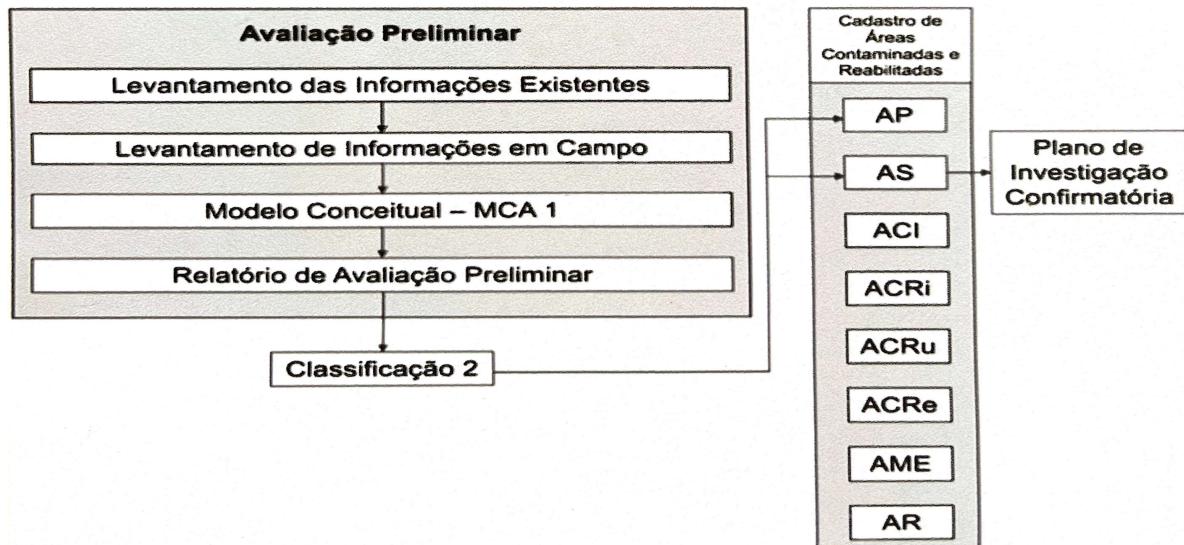
4.4.1 Avaliação Preliminar

O artigo 3 do Decreto Estadual 59.263 (SÃO PAULO, 2013) define a Avaliação Preliminar como uma avaliação inicial, realizada com base nas informações disponíveis, públicas ou privadas, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área e com o objetivo de identificar as fontes primárias e potencialidades de contaminação com base na caracterização das atividades historicamente desenvolvidas e em desenvolvimento no local, embasando o planejamento das ações a serem executadas nas etapas seguintes do gerenciamento.

Segundo a norma brasileira NBR 15.515-1 (ABNT, 2011), a Avaliação Preliminar é uma etapa inicial de avaliação de um passivo ambiental, que identifica a possível existência (indícios) de contaminação na área do solo e água subterrânea.

O procedimento recomendado pela norma consiste em dois caminhos que podem ser realizados paralelamente: a coleta de dados existentes e a inspeção de reconhecimento da área. Na coleta de dados deve-se fazer um estudo histórico e um estudo sobre o meio físico. Na inspeção de reconhecimento deve-se fazer uma vistoria de campo e aplicação de entrevistas. Os dados e informações coletadas devem ser apresentados no Relatório de Avaliação Preliminar. Portanto, a execução da etapa de Avaliação Preliminar produz um diagnóstico inicial de uma determinada AP, a partir da realização de um Levantamento de Informações Existentes e de um Levantamento de Informações em Campo, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma da etapa de avaliação preliminar



Fonte: CETESB (2021)

A Avaliação Preliminar é, portanto, realizada com base nas informações históricas disponíveis (levantamento histórico, entrevistas, imagens e fotos) e inspeção do local (campo), com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.

Segundo o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021), a realização da etapa de Avaliação Preliminar, em cada AP identificada e considerada prioritária na etapa anterior do Processo de Identificação de Áreas Contaminadas, tem como objetivo geral identificar fatos, evidências, indícios ou incertezas que levem a suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, gerada a partir de fonte de contaminação primária localizada dentro dos limites da área em avaliação.

Segundo a DD 038/2017/C (CETESB, 2017) para a execução da etapa de Avaliação Preliminar o Responsável Legal deverá designar um Responsável Técnico para executar as seguintes atividades:

- Levantamento da documentação existente sobre a área, disponível na própria empresa, nos processos administrativos da CETESB e na Prefeitura Municipal;

- b) Levantamento de dados e informações relativos ao histórico da ocupação da área e das atividades nela desenvolvidas, considerando os usos pregressos;
- c) Levantamento do uso de água subterrânea, com a localização dos poços de abastecimento de água, com base nas informações disponibilizadas pela empresa e pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), considerando um raio de 500m a partir dos limites da área objeto da Avaliação Preliminar;
- d) Levantamento aerofotogramétrico temporal de modo a caracterizar as alterações do uso e ocupação do solo na área e no seu entorno, considerando um raio de 500 m a partir dos limites da área sob avaliação, e levantar evidências relativas à existência de fontes potenciais de contaminação;
- e) Levantamento de informações coletadas em inspeções de reconhecimento;
- f) Levantamento de informações coletadas em entrevistas com proprietários, funcionários e moradores do entorno;
- g) Levantamento da geologia, pedologia e hidrogeologia regionais;
- h) Levantamento de dados da geologia e pedologia locais disponíveis na empresa, como aqueles resultantes de investigações geotécnicas;
- i) Levantamento de informações sobre eventuais investigações ou etapas do GAC (Gerenciamento de Áreas Contaminadas) realizadas na área;
- j) Elaboração de Modelo Conceitual Inicial da Área (MCA 1);
- k) Elaboração do Plano de Investigação Confirmatória.

Enfim, a Avaliação Preliminar segundo a DD 038/17 exige o levantamento de dados administrativos; históricos e industriais de ocupação do solo; uso da água para abastecimento e outros; uso e ocupação de seu entorno; inspeções e entrevistas; geológicos, hidrogeológicos e meteorológicos, como também das investigações anteriores.

A partir do uso de instrumentos e ferramentas adequadas para o levantamento das informações citadas pode-se elaborar o primeiro modelo conceitual bem fundamentado, ou seja, com diminuição de incertezas.

Segundo o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021), a etapa de Avaliação Preliminar tem como objetivos específicos ou atividades principais:

- Identificar as fontes de contaminação potenciais;
- Identificar as substâncias químicas de interesse (SQI);

- Constatar situações que permitam suspeitar da liberação de SQI a partir das fontes de contaminação potenciais;
- Constatar situações que permitam suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente;
- Verificar a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, em fonte de contaminação difusa ou apresentar contaminação por fonte de contaminação natural;
- Descrever as hipóteses de liberação das SQI a partir das fontes de contaminação potenciais e distribuição para os compartimentos do meio ambiente;
- Identificar os bens a proteger;
- Identificar os caminhos de exposição potenciais;
- Identificar os responsáveis legais solidários;
- Definir o modelo conceitual 1 (MCA 1);
- Propor nova classificação da AP;
- Verificar a necessidade de realização da etapa de Investigação Confirmatória;
- Propor plano preliminar da etapa de Investigação Confirmatória.

A responsabilidade pela execução da etapa de Avaliação Preliminar é do responsável legal e do responsável técnico, cabendo ao órgão ambiental gerenciador a avaliação das informações apresentadas.

Os resultados da Avaliação Preliminar são utilizados para embasar a classificação como Área Suspeita de Contaminação (AS) (ou outra classificação possível, em razão das informações obtidas), além de orientar a execução das demais etapas do GAC- Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Uma AS é aquela em que, durante a execução da etapa de Avaliação Preliminar, foram identificados:

- fatos, evidências, indícios ou incertezas que permitam suspeitar da existência de fontes de contaminação primárias, dentro dos limites da AP em avaliação;
- fatos, evidências, indícios ou incertezas que permitam suspeitar da existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, que tenha sido gerada dentro dos limites da AP em avaliação.

4.4.2 Investigação confirmatória

O decreto do Estado de São Paulo Nº 59.263 de 05 de junho de 2013 define Investigação Confirmatória como a etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminantes em concentrações acima dos valores de intervenção estabelecidos pela CETESB, por meio da investigação de todas as fontes potenciais e primárias de contaminação identificadas na etapa de Avaliação Preliminar, e apresenta como objetivo adicional a obtenção de dados iniciais necessários à caracterização do meio físico.

Segundo a Resolução CONAMA Nº 420/2009, a Investigação Confirmatória pode ser definida como a etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação.

Segundo o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021), a realização da etapa de Investigação Confirmatória na área classificada como AS tem o objetivo geral de identificar situações que permitam confirmar ou não a existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, gerada a partir de fontes de contaminação primária localizadas dentro dos limites da área em avaliação. A sua execução envolve, basicamente, a realização de investigações em pontos estrategicamente posicionados nos compartimentos do meio ambiente, utilizando-se de métodos diretos de investigação.

A investigação confirmatória é uma investigação de orientação e de exploração. Segundo CONAMA Nº 420/2009, deve haver a investigação de todas as fontes potenciais e primárias de contaminação identificadas na etapa de Avaliação Preliminar. Essas investigações são realizadas através de amostragens representativas na área das fases sólida (resíduos/solo), líquida (água subterrânea e /ou superficiais) e gasosa (gases do solo). Os resultados das análises são comparados com valores de investigação e intervenção, que são valores de concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, acima dos quais existem riscos potenciais diretos ou indiretos à saúde humana considerando cenário de exposição genérico.

Os métodos diretos de investigação são aqueles em que são obtidas amostras diretamente do compartimento do meio ambiente avaliado para determinação das suas características ou para a determinação da concentração ou quantidade da SQI nele presente.

O responsável legal tem a prerrogativa de realizar a etapa de Investigação Confirmatória, devendo para isso, designar um responsável técnico para a sua execução.

Cabe ao órgão ambiental gerenciador avaliar o Relatório de Investigação Confirmatória apresentado pelo responsável legal, com os resultados dessa etapa, e a gestão das novas informações obtidas.

Quando confirmada a contaminação de pelo menos um dos compartimentos do meio ambiente após essa etapa, a área será classificada como Área Contaminada sob Investigação (ACI) e suas informações registradas pelo órgão ambiental gerenciador, no Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas, complementando a Relação de Áreas Contaminadas Sob Investigação.

As informações obtidas na etapa de Investigação Confirmatória são utilizadas para subsidiar a execução das etapas subsequentes do Processo de Identificação de Áreas Contaminadas, especialmente para o planejamento da etapa seguinte de Investigação Detalhada.

A seguir, as principais atividades da etapa de Investigação Confirmatória são listadas em uma ordem lógica de execução, e descritas com um pouco mais de detalhe nas alíneas subsequentes:

- elaborar o plano definitivo de Investigação Confirmatória;
- executar o plano definitivo de Investigação Confirmatória;
- revisar as hipóteses de liberação das SQI a partir das fontes de contaminação primárias para os compartimentos do meio ambiente;
- verificar a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, em fonte de contaminação difusa ou apresentar fonte de contaminação natural;
- identificar os bens a proteger que podem ser efetivamente atingidos pela contaminação;
- identificar os caminhos de exposição;
- definir o segundo modelo conceitual (MCA 2);
- propor nova classificação da área em avaliação;
- verificar a necessidade de continuidade do GAC;
- propor plano preliminar para a execução da etapa de Investigação Detalhada;
- identificar os responsáveis legais e solidários.

Por outro lado, a DD 038/2017/c (CETESB, 2017) diz que a investigação confirmatória apresenta por objetivo confirmar ou não a existência de substâncias que significam risco genérico para a saúde humana. Trata-se de uma investigação técnica para caracterização da contaminação por meios técnico e analítico como coleta de amostras, análise de laboratório ou de campo (screening); uso de técnicas, ferramentas e equipamentos técnicos.

Segundo o decreto do Estado de São Paulo Nº 59.263 de 05 de junho de 2013, existe uma relação da Investigação Confirmatória com a Avaliação Preliminar: segundo o Artigo 23º, o responsável legal, ao detectar indícios ou suspeitas de que uma área esteja contaminada, deverá imediatamente comunicar tal fato à CETESB e ao órgão competente de saúde e realizar a Investigação Confirmatória. Além disso, a realização da Investigação Confirmatória deverá ser precedida de Avaliação Preliminar.

O que motiva o uso de Valor de Intervenção/Investigação é o fato de ser uma medida estabelecida legalmente para avaliar o risco genérico. Executa-se em situações tais como mudança de uso de solo; localização em áreas/regiões com evidência de contaminação ou consideradas críticas. Tem como resultado a classificação da área como Área Contaminada (sob Investigação) e seguir com a Investigação Detalhada. Tem como abrangência determinar o Plano de Investigação Confirmatória.

Na Resolução CONAMA Nº 420/2009 no Art. 6 estão definidos os valores de investigação:

- Valor de Investigação - VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

No Decreto do Estado de São Paulo Nº 59.263 de 5 de junho de 2013 encontra-se a seguinte definição:

- Valor de Intervenção: concentração de determinada substância no solo e na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico;

Segundo o Artigo 27º do Decreto do Estado de São Paulo Nº 59.263 de 5 de junho de 2013 e no contexto do Gerenciamento de áreas contaminadas, a realização de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória independe de solicitação ou exigência da CETESB, sendo obrigação do responsável legal para os terrenos enquadrados nos seguintes casos considerados prioritários:

- Áreas com Potencial de Contaminação (AP) localizadas em regiões onde ocorreu ou está ocorrendo mudança de uso do solo, especialmente para uso residencial ou comercial;
- Áreas com Potencial de Contaminação (AP) localizadas em regiões com evidências de contaminação regional de solo e de água subterrânea;
- Áreas com Potencial de Contaminação (AP) cuja atividade foi considerada como prioritária para o licenciamento da CETESB;
- Sempre que houver qualquer alteração de uso de área classificada como Área com Potencial de Contaminação (AP).

Segundo o Artigo 25º, uma área é declarada Área Contaminada sob Investigação – AI, pelo órgão ambiental competente, quando comprovadamente for constatada, mediante investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação.

Segundo o Artigo 28º, uma área é classificada como Área Contaminada sob Investigação (ACI) quando houver constatação da presença de:

- Contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção;
- Produto ou substância em fase livre;
- Substâncias, condições ou situações que, de acordo com parâmetros específicos, possam representar perigo (possibilidade de incêndios, explosões, exposição aguda a agentes tóxicos, reativos e corrosivos, patogênicos, mutagênicos e cancerígenos, migração de gases voláteis para ambientes confinados acima de valores estabelecidos pela CETESB, comprometimento de estruturas de edificação em geral);
- Resíduos perigosos dispostos em desacordo com as normas vigentes.

Após a declaração de AI ou ACI, o órgão ambiental competente, em conjunto com os demais órgãos envolvidos, deverá adotar medidas cabíveis para resguardar os receptores do risco já identificados nestas etapas.

De acordo com DD-038-2017/C da CETESB a abrangência da Investigação Confirmatória no contexto de gerenciamento de áreas contaminadas pode ser assim descrita:

- MCA 1A (Estratégia 1): todas as áreas fonte existentes (atuais e pretéritas) identificadas + dados e informações adequadas e completas para cada uma delas

Modelo Conceitual com as fontes potenciais de contaminação (ou até mesmo fontes primárias de contaminação); as substâncias químicas de interesse associadas a cada uma dessas fontes; as características dos materiais presentes em subsuperfície (aterro, solo, sedimento, rocha); o uso e ocupação do solo na região onde a área se insere.

Plano de Investigação Confirmatória: estratégia de amostragem direcionado às substâncias químicas de interesse e todas as fontes potenciais de contaminação identificadas.

- MCA 1B (Estratégia 2) incertezas quanto à identificação, caracterização e localização de áreas fonte e/ou das fontes potenciais de contaminação associadas a essas áreas fonte.

Plano de Investigação Confirmatória: elaborado com emprego de métodos de investigação para caracterizar o meio físico, natureza e a distribuição SQI (*screening* e geofísicos); plano de amostragem adote abordagem probabilística, de modo a possibilitar o direcionamento, ou o posicionamento adequado das amostragens. Todas as substâncias químicas de interesse possíveis na área

- MCA 1C: sem informações sobre a localização e características das áreas fonte - Estratégia 2 para toda a Área com Potencial de Contaminação (AP).
- Observações:

A ausência de informações detalhadas sobre o histórico de operação da unidade ou sobre as ocupações ocorridas no local devem ser consideradas como incertezas na classificação do MCA 1.

O desconhecimento da localização e distribuição da rede de drenagem subterrânea que possa ter transportado substâncias com potencial de contaminação deve ser considerado como uma incerteza na classificação do MCA 1.

Nas áreas com MCA 1B ou MCA 1C, mas que tenha sido possível identificar a possibilidade de uso e distribuição desses compostos na fase vapor do solo, por meio de amostradores passivos ou por análises químicas realizadas em campo ou laboratório.

Nos casos em que as características dos materiais presentes em subsuperfície (aterro, solo, sedimento, rocha) não tenham sido identificadas na Avaliação Preliminar, essa situação poderá impossibilitar a definição das profundidades de amostragem no Plano de Investigação Confirmatória. Nessa condição, o Responsável Técnico deverá incluir essa incerteza no Plano de Investigação Confirmatória e definir as profundidades de amostragem durante a execução da Investigação Confirmatória, sendo recomendável que sejam realizadas sondagens fora das áreas fonte, de modo a evitar o transporte de contaminantes para as camadas mais profundas.

A ausência de informações sobre as substâncias químicas potencialmente presentes na área, ensejará a necessidade de adoção de procedimentos adicionais no Plano de Investigação Confirmatória, visando à identificação dessas substâncias durante a execução da etapa de Investigação Confirmatória.

Caso seja identificada a existência de perigo, a CETESB deverá ser comunicada de imediato pelo Responsável Legal.

Segundo a DD 038/2017 um plano de amostragem abrange a distribuição dos pontos de amostragem, os meios a serem amostrados, a profundidade da amostragem, as substâncias de interesse a serem analisadas e a realização de análises químicas de laboratório.

Na NBR 15515-2 (ABNT, 2011) são apresentadas as técnicas analíticas de resposta rápida, o desenvolvimento do plano de amostragem, a interpretação dos resultados, a elaboração do modelo conceitual e a elaboração do relatório técnico.

Segundo o Guia para Avaliação do Potencial de Contaminação em Imóveis (CETESB, 2003), a Investigação Confirmatória tem como principal objetivo confirmar a presença ou não de substâncias que possam causar poluição e verificar a necessidade da realização de uma investigação detalhada. A Investigação Confirmatória consiste basicamente em: elaboração de um plano de amostragem, execução de sondagens, coleta e análise de amostras e interpretação dos resultados obtidos. Os laudos de análises deverão ser apresentados conforme norma NBR ISO/IEC 17.025 – Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração e o laboratório de análises, deve estar devidamente equipado e credenciado no INMETRO ou que tenha certificações ISO. Os resultados das análises químicas devem ser avaliados em relação aos valores de referência de qualidade dos meios amostrados como, por exemplo, a Lista de Valores Orientadores de Qualidade de Solo e Água Subterrânea (CETESB, 2001) ou, quando possível, às concentrações naturais encontradas nos solos e águas da região do imóvel. A presença de substâncias em concentrações superiores às estabelecidas na lista de valores orientadores indica a presença de contaminação no imóvel. Todas as atividades efetuadas, bem como os resultados obtidos e sua interpretação, devem ser descritos em relatório técnico, no qual deve constar a equipe responsável pela sua elaboração. Quando confirmada a contaminação, deverá ser realizada uma investigação detalhada no imóvel, que possibilite a obtenção de informações adicionais sobre a extensão da contaminação e sobre o risco à saúde humana que esta representa, para que, em seguida, possam ser estabelecidas as medidas mitigadoras e corretivas a serem adotadas para a recuperação do meio degradado. Nestes casos, a CETESB deverá ser informada sobre a contaminação, para que possa orientar e acompanhar os trabalhos relativos à investigação detalhada.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória foram aplicadas a um estudo de caso real de um local onde foram dispostos resíduos urbanos e rurais durante o período de 1999 até 2020 no município de Itapira. A área de estudo compreende esse local e o a área contígua onde um novo aterro sanitário está em construção.

Para a etapa de Avaliação Preliminar foi utilizado o fluxograma de atividades proposto por Marker em 2013 apud Andreia (2018), que se resume ao seguinte: coleta de dados sobre o uso histórico e atual da área impactada; identificação e caracterização das fontes primárias de contaminação; e caracterização dos focos potenciais e substâncias de interesse. Esse fluxograma orienta a obter, de documentos existentes, informações sobre geologia, hidrologia, vias e rotas de contaminação, como também informações sobre uso e ocupação do solo local e seu entorno e sobre os prováveis receptores.

As fontes de informações consultadas foram documentos obtidos nas seguintes instituições: CETESB, IPT e Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente da Prefeitura de Itapira.

Os documentos consultados foram:

- a) CETESB – **Pasta Técnica do Aterro sanitário de Itapira.**
- b) CISBRA - Consorcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas. **Plano Regional de Gestão Associada e Integrada de Resíduos Sólidos para a Região do Circuito das Águas. Plano Cidades Limpas.** São Paulo. 2013.
- c) COAMI – **CONSULTORIA AMBIENTAL E MINERAÇÃO LTDA. Projeto de Encerramento e Recuperação da Área do Aterro Sanitário de Itapira.** Itapira. 2019.
- d) EQÜI - SANEAMENTO AMBIENTAL LTDA. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Itapira.** Itapira. 2010.
- e) GPS - ENGENHARIA AMBIENTAL E SEGURANÇA DO TRABALHO LTDA. **Plano de Monitoramento Ambiental. Itapira, 2019.**
- f) GPS - ENGENHARIA AMBIENTAL E SEGURANÇA DO TRABALHO LTDA. **Plano de Monitoramento Ambiental.** Itapira, 2020.
- g) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. - **Elaboração de Plano de Encerramento do Aterro Sanitário de Itapira e Estudos de Viabilidade Ambiental em Área Contigua.** São Paulo: IPT, 2014. (IPT Relatório Técnico nº137.171-205).

- h) SUSTEN CENTRISTA SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA. **Estudo e Projeto Básico do Novo Aterro Sanitário Municipal de Itapira. Relatório Ambiental Preliminar.** Itapira (2016).

A caracterização do uso de água e do solo do local foi realizada, sob a coordenação do autor, pela SUSTEN CENTRISTA (2016), por meio de estudos indiretos e diretos. Nos métodos indiretos foram analisadas fotografias aéreas e cartas do IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. O método direto consistiu em levantamentos in loco por meio de visitas técnicas auxiliadas por observação e registros fotográficos. O autor também realizou visitas ao local para comprovar a veracidade das informações levantadas e elaborar uma descrição mais detalhada da vegetação e outras características locais, tais com emergência de gases, lixiviados, material particulado, fumaça e existência de vetores de doença.

As informações levantadas permitiram a elaboração do modelo Conceitual Preliminar, que foi do tipo MCA1.

A investigação confirmatória foi realizada tendo como base os resultados de 3 campanhas de amostragem realizadas nos anos 2014 (IPT), GPS (2019) e GPS (2020) e o plano de monitoramento ambiental existente e que cobre a área de estudo.

6. RESULTADOS – INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR

6.1 Aspectos gerais

Na região onde está inserido o município de Itapira quase todos os municípios destinam seus resíduos sólidos urbanos para aterros sanitários, que não são operados com os mínimos critérios técnicos de engenharia, o que leva a perda de vida útil por diminuir sua capacidade volumétrica. A possibilidade de encaminhamento desses resíduos produzidos em Itapira para outros aterros sanitários próximos era quase nula, pois eles operam com atendimento exclusivo ao próprio município, dificultando a realização de contratos de prestação de serviço entre os mesmos.

Apesar de ter funcionado sem licença de operação entre 2013 a 2020, observa-se que o município de Itapira possui em seu histórico de avaliação, nesse período, IQR – Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (CETESB, 2021) acima de 7,1, até o encerramento das atividades, o que o classificava como aterro sanitário em condições adequadas.

6.2 Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Itapira, Estado de São Paulo, como apresentado na Foto 1.

Foto 1 - Localização da área de estudo



Fonte: IBGE (2014); GOOGLE MAPS (2014) apud IPT (2014).

A área de estudo localiza-se, em linha reta, a cerca de 11 quilômetros da sede administrativa municipal e 15 quilômetros por rodovia e estrada municipal. As coordenadas geográficas de referência da área de estudo são: N=7.521.557 m e E=320.184 m (UTM Sirgas 2009). Altitude: 650 m - Fuso: 23.

6.3 Caracterização da área de estudo

6.3.1 Uso e ocupação do solo

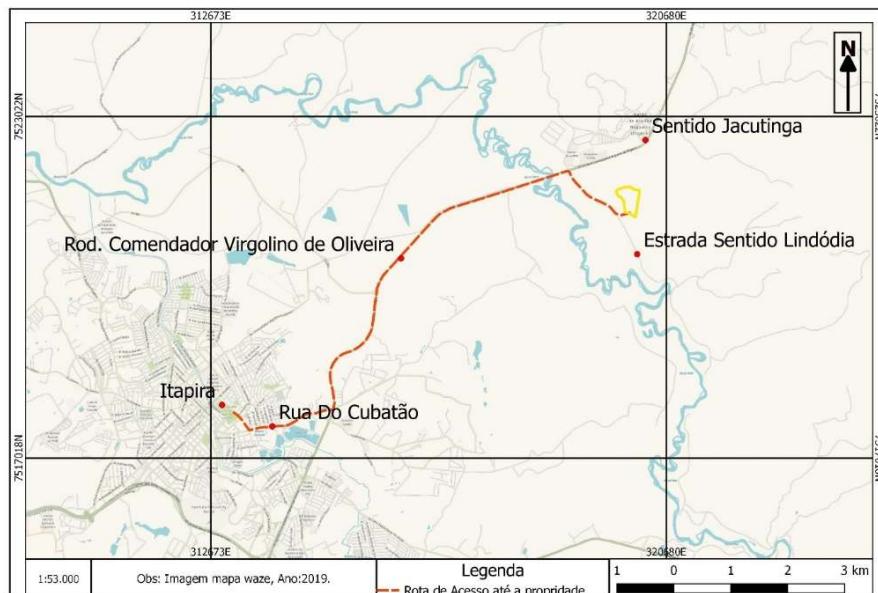
Em relação ao uso e ocupação do solo, algumas características predominantes são apresentadas a seguir:

a) Zoneamento ambiental. A área de estudo é limítrofe ao atual Aterro Sanitário de Itapira e a gleba de terreno de propriedade da Usina Nossa Senhora Aparecida, ambos circunscritos por estradas municipais rurais sem denominações. Essas áreas não fazem parte de áreas de proteção ambiental.

b) Zoneamento urbano. A área de estudo não está inserida no Zoneamento Urbano. Trata-se de gleba localizada em zona rural.

c) Acessos. Para chegar à área de estudo a partir do centro usa-se a rua Cubatão, segue-se pela Rodovia Comendador Virgolino de Oliveira até chegar à Rodovia SP 352, nela anda-se até o quilometro 174,9 no Distrito de Barão Ataliba Nogueira, onde se acessa uma estrada municipal, na qual anda-se 500 metros até chegar ao local. A Figura 14 mostra a rota principal.

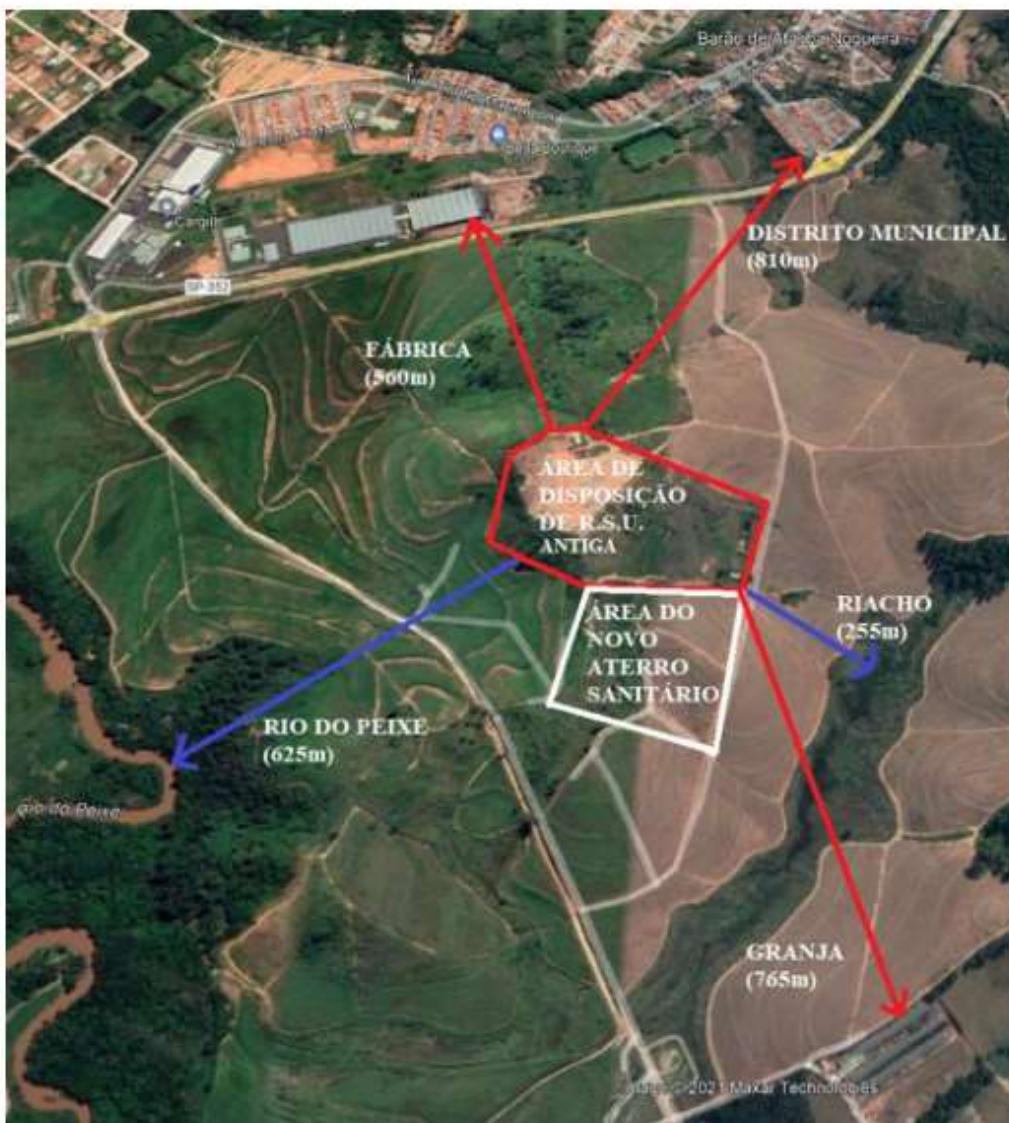
Figura 14 - Principal rota do centro da cidade até o empreendimento



Fonte: GOOGLE MAPS (2018).

d) Vizinhança. Não se observam, nas proximidades da área de estudo, edificações destinadas a moradias, sendo que o núcleo habitacional mais próximo é o Distrito de Barão Ataliba Nogueira, a cerca de 810 metros do local. Na parte sudeste uma granja está localizada a aproximadamente a 765 metros de distância do limite da área. A noroeste encontra-se uma fábrica de brinquedos, distando aproximadamente 560 metros do limite. Portanto, em um raio inferior a 500 metros não existem edificações residenciais, comerciais e industriais (Foto 2). A região é caracterizada como predominantemente agropecuária, com ênfase na cultura de cana-de-açúcar. No entorno da área localizam-se o Rio do Peixe, distante a 625 metros, e um córrego sem denominação a 255 metros.

Foto 2 - Distâncias entre o Aterro Sanitário as edificações e corpos de água



Fonte: Imagem obtida pelo software Google Earth (2014) modificada por SAMUDIO (2021)

A área de estudo e suas adjacências já foram objeto de forte intervenção antrópica. O atual uso do solo está relacionado principalmente ao plantio de cana-de-açúcar. Também de forma menos significativa existem alguns eucaliptos. Observou-se que a parte superior da gleba encontra-se recoberta por vegetação arbórea, enquanto a parte inferior encontra-se cultivada por cana-de-açúcar (Foto 2). No centro na parte superior observa-se a mancha de vegetação onde operava o primeiro aterro controlado que faz parte da área em estudo.

e) Vegetação arbórea. Conforme observado em campo, a vegetação arbórea presente na parte superior do terreno é composta basicamente por *Eucalyptus ssp*, os quais não possuem um alinhamento bem definido e encontram-se, em sua maioria, secos e em pé, o que é característico de talhões acometidos pela passagem de fogo.

Junto ao eucaliptal, não há presença de regenerantes nem de estrato herbáceo e arbustivo no local, havendo apenas lianas e gramíneas oportunistas compondo o sub-bosque, o que pode ser considerado como vegetação exótica.

f) Cultura de cana-de-açúcar. A parte inferior do terreno é ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar (Foto 3). Tanto nas adjacências do empreendimento em estudo como no novo aterro sanitário observa-se uma alta pressão pela intervenção antrópica.

Foto 3 - Vista da plantação de cana-de-açúcar e a esquerda parte do platô da área em estudo



Fonte: Imagem de Drone captada em outubro de 2019 – COAMI (2019)

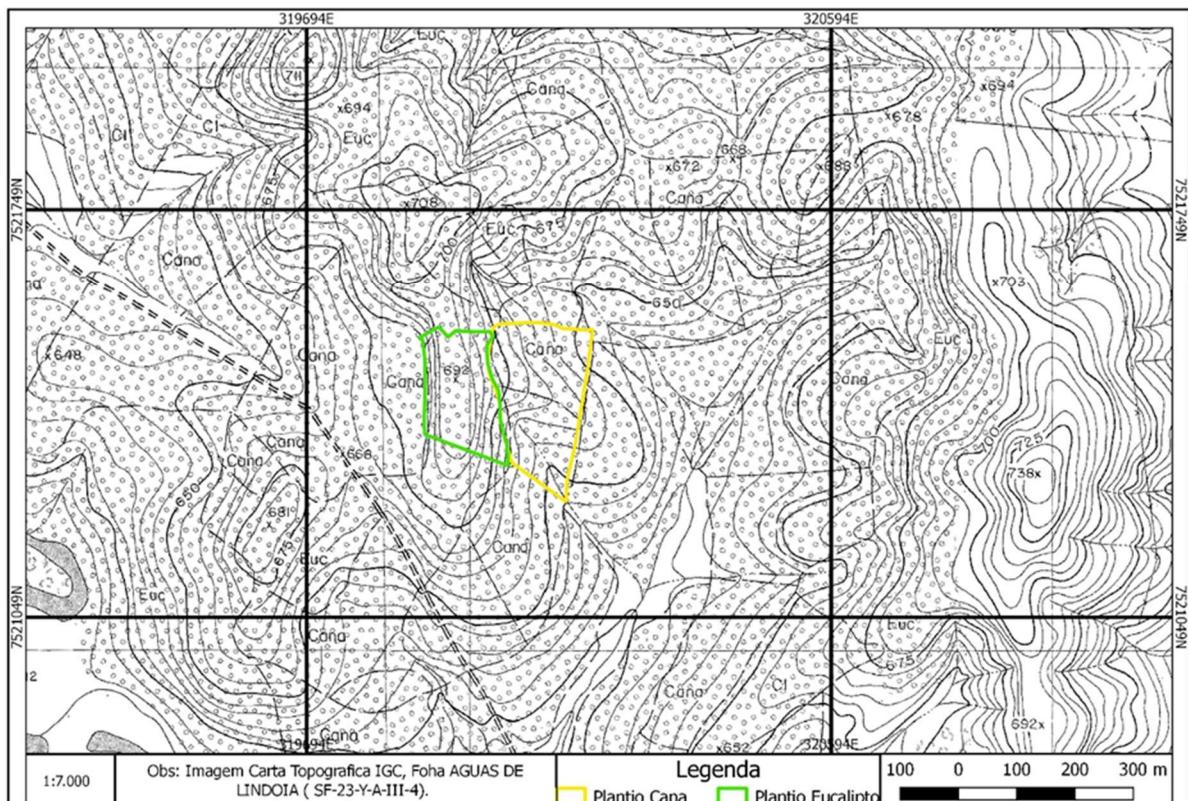
6.3.2 Bacias e sub - bacias hidrográficas

A área de estudo está localizada na bacia Mogi Guaçu – UGRHI -09 e sub - bacia do Rio do Peixe.

6.3.3 Relevo

A partir da carta topográfica do IGC (Figura 15) foi possível diagnosticar as características do relevo ondulado.

Figura 15 - Carta topográfica da área de estudo



que age como cunha da massa de resíduos, permitindo apenas deslocamentos na direção sudeste ou sudoeste. Ao sudeste o terreno apresenta uma inclinação média de 24,38% e ao sudoeste de 36,91%, como pode ser observado na Tabela 6.

Figura 16 – Esquema do levantamento planialtimétrico georreferenciado da situação da gleba (2019) e projeção dos resíduos.

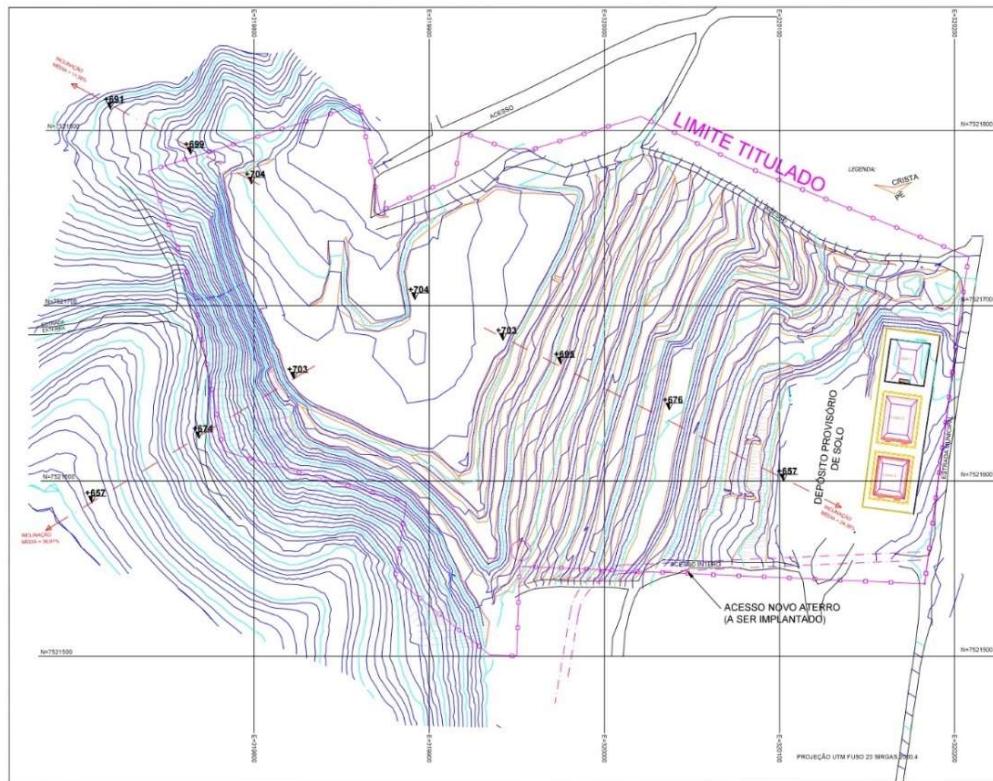


Tabela 6 - Direção, elevação e inclinação de eixos selecionados da Figura 16

Direção	Elevação	D. Linear	D. Real	Inclinação	Inclinação Média
SE	703	112,5	115,69	23,34%	24,38%
	676				
SE	703	175	180,94	25,42%	36,91%
	657				
SO	703	62,5	68,90	42,09%	36,91%
	674				
SO	703	137,5	144,99	31,73%	36,91%
	657				
NO	702	30	30,15	9,95%	11,58%
	699				
NO	702	82,5	83,23	13,22%	11,58%
	691				

Autor: SAMUDIO (2019)

6.3.4 Titulação da área

O local de estudo foi denominado área de utilidade pública mediante decretos que resultaram em matrículas registradas no cartório de Registros de Imóveis e Anexos da Comarca de Itapira – Estado de São Paulo. A primeira matrícula foi a de número 23265 de 27 de dezembro de 2000, a segunda e terceira de 19 de abril de 2018, de números 37.173 e 37.174, respectivamente. A Figura 14 mostra que a área da gleba é constituída das seguintes áreas: Títulos registrados - matrícula 23.265 com área registrada de 54.955 m², porém verificada em campo dá corretamente 58.629,27 m²; matrícula 37.174 com área registrada de 38.195,78 m². Ambas as matrículas totalizam uma área titulada de 93.150,78m², mas verificado em campo representam uma área de 96.825,06 m². Existe, ainda, uma área ocupada externa aos títulos de 1.238,85 m², totalizando atualmente 98.063,09 m² (96.825,06m² + 1.238,85m²).

6.3.5 Transporte

O encerramento da área de estudo prevê manutenção e monitoramento dos sistemas de proteção ambiental por um período mínimo de 20 anos, portanto será necessário transporte de recursos (humanos, materiais e equipamentos). Esta área está próxima ao centro da cidade, portanto ocorrerá um baixo custo no deslocamento dos recursos.

6.3.6 Edificações de Apoio

Não existem edificações de apoio, porém o novo empreendimento, adjacente à área de estudo, contempla a execução de um edifício de apoio contendo sanitários, refeitórios, escritório e guarita e balança que serão utilizados para manutenção, operação e monitoramento de ambos os empreendimentos.

6.3.7 Infraestrutura urbana

A área de estudo conta com infraestrutura viária adequada tanto externa como interna. Em relação ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, o local será suprido pelos sistemas implantados no novo Aterro Sanitário, que consistem em abastecimento de água potável por caminhão pipa e ETE – Estação de Tratamento de Esgotos composta por 1 tanque séptico, 2 filtros anaeróbios e 1 sumidouro. O sistema de tratamento de líquidos percolados existente, constituído por uma sequência de três lagoas, será readequado à condição de reservatório de lixiviado

atendendo a ambos os empreendimentos. Com relação à energia elétrica foi implantada uma linha de transmissão com cerca de 520 metros do local, transformador e poste padrão C6, que atenderá ambos os empreendimentos.

6.4 Levantamento de dados sobre o meio físico da área

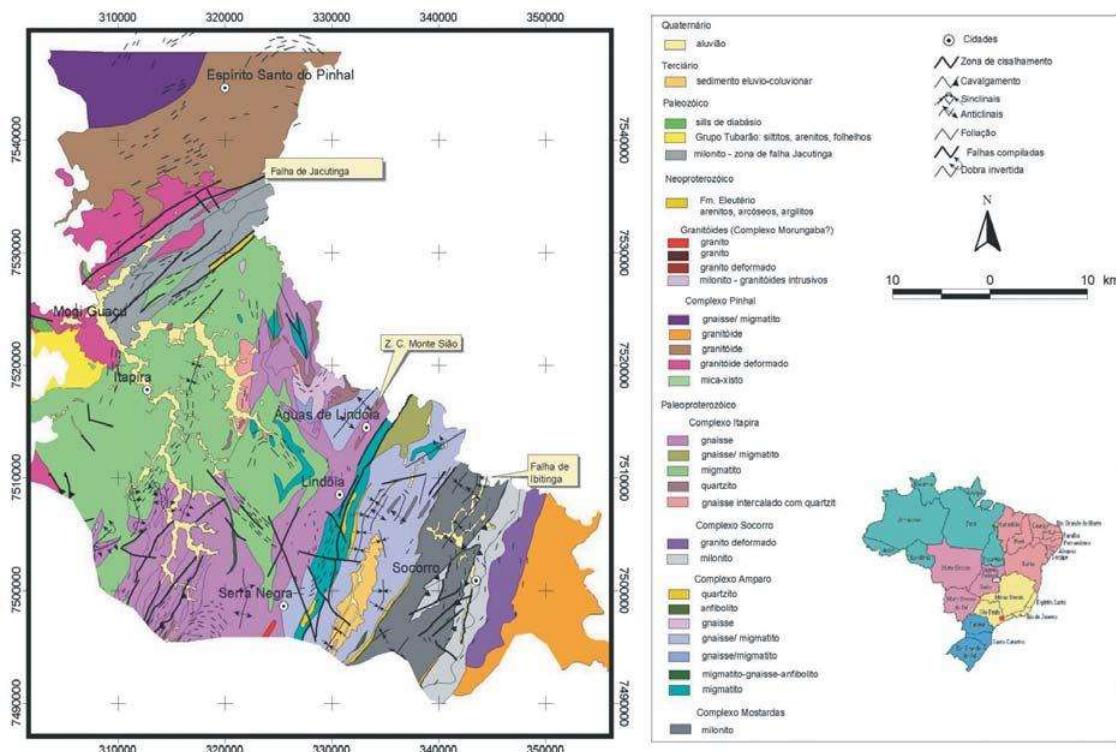
6.4.1 Caracterização geológica e geotécnica

O IPT nos anos 1998 e 2014 realizou uma caracterização geológica e geotécnica da região da área de estudo. Os principais resultados dessas pesquisas e investigações de caracterização são apresentados e discutidos a seguir.

6.4.2 Geologia regional

A caracterização regional permitiu identificar que o município de Itapira está inserido no contexto do Orógeno Ribeira, que apresenta um trend estrutural na direção NE-SW com empilhamento tectônico no sentido oeste (Figura 17).

Figura 17 - Geologia da região de Itapira



Fonte: MADRUCCIL, V. (2005) apud IPT (2014)

Nesse sentido Itapira tem grande variedade litológica, incluindo gnaisses, migmatitos, anfibolitos, xistos, quartzo xistos, quartzitos, mármore, meta-ultrabasitos e gonditos.

6.4.3 Geologia local

Na gleba adjacente à área de estudo ocorrem rochas migmatíticas leucocráticas competentes, com bandamento sub-vertical, e direções de fraturamento de N30°E, N60°E e N30°W (Foto 4), sendo observados também gnaisses bandados de granulação média a fina, enquanto nas porções inferiores da área ocorrem blocos de quartzito micáceos e de rocha de coloração esverdeada, possivelmente cálcio - silicatada (IPT, 1998 apud IPT (2014)).

Foto 4 - Afloramento rochoso adjacente à área de estudo, mostrando fraturamento sub- vertical



Fonte: IPT (2014).

Também se observam padrões de boudinagem em horizontes quartzosos (

Foto 5).

Foto 5 - Padrões de boudinagem em horizontes quartzosos



Fonte: IPT (2014)

Sobrepostos às rochas cristalinas, ocorrem solos residuais oriundos do intemperismo das rochas gnáissicas e migmatíticas, invariavelmente preservando as estruturas pretéritas tais como a xistosidade (Foto 6).

Foto 6 - Estruturas preservadas das rochas cristalinas em solo residual



Fonte: IPT (2014) apud SUSTEN CENTRISTA (2017)

6.4.3.1 Aspectos Geotécnicos

Levantamento por sondagens a trado realizadas pelo IPT (1998) na área do aterro sanitário antigo permitiu obter os seguintes resultados sobre o solo local: até 17m não se encontrou o lençol freático, a massa específica aparente natural do solo foi de 1,83 g/cm³; o teor de umidade natural igual a 19,35%, coeficiente de permeabilidade de 4,6 x 10⁻⁵ cm/s e cor avermelhada.

Também foram realizadas análises granulométricas que classificaram o solo como areia siltosa, sendo constituído de 55,6% de areia, 30,9% de silte, 30,9%, 12,5% de argila e 1% de pedregulho.

Na área do novo aterro sanitário as investigações mostraram que o horizonte predominante do solo é silto-arenoso-argiloso, com coloração variegada, ocorrendo em média de 48,7% de silte, 32,3% de areia, 13,5% de argila e 5,5% de pedregulho. A Tabela 7 apresenta os resultados da análise realizada.

Tabela 7 - Resultados da análise granulométrica

Amostra	Profundidade da amostragem (m)	Fração granulométrica (%)			Classificação do solo
		Argila	Silte	Areia	
S-4	24-24,50	11	63	26	Silte arenoso argiloso
S-5	6,0-7,45	15	54	28	Silte arenoso argiloso
S-6	16-17,45	12	35	53	Areia silto argilosa
S-7	4,0-5,0	14	42	43	Areia silto argilosa
S-8	5,0-6,45	28	48	23	Silte argilo arenoso
S-9	5,0-6,45	28	50	21	Silte argilo arenoso

Fonte: IPT (2014).

6.4.3.2 Aspectos hidrogeológicos

a) Hidrogeologia regional

Segundo o IGCE/UNESP (1997) apud IPT (1998), a região onde se inclui a área de estudo tem dois aquíferos localizados, o primeiro, no manto intemperizado de rochas gnáissicas e migmatíticas, com profundidade de até 40 m e, o segundo nas mesmas rochas, mas inalteradas e bastante fraturadas, na profundidade entre 40 e 150 m. Do “áquifero manto intemperizado” depende a maior quantidade de água captada pelo segundo, designado “áquifero fraturado”.

b) Hidrogeologia local

Segundo IPT (1998), o aquífero manto intemperizado foi encontrado na área de estudo, localizado na porção leste da área (mais baixa) e na encosta centro-nordeste da área. Para a porção mais alta e oeste-nordeste da área, já se dispunha da indicação da profundidade do nível d'água maior que 17 m. Na porção mais alta e a oeste da área também não se encontrou o N.A. Na Tabela 8 apresentam-se as cotas do nível de água obtidas nas sondagens, a partir das quais se esboçou o mapa potenciométrico (Figura 18) para toda a porção leste da área. Pode-se observar ainda o sentido de fluxo das águas subterrâneas, predominando de oeste-noroeste para leste-sudeste.

Segundo o IPT (2014), pode-se definir que nesta área existe um aquífero superior com espessura de 30 m, constituído por camadas de solo e de rocha alterada. Já nos níveis mais profundos existe um aquífero inferior constituído pelas rochas fraturadas do fundamento cristalino. Segundo sondagens efetuadas, o nível d'água na área do aterro sanitário antigo, na parte mais baixa está localizado a 6,15 m de profundidade, e na área do aterro sanitário novo é mais profundo, variando de 6,22 m a 28,70 m de profundidade.

Tabela 8 - Cargas hidráulicas obtidas nas sondagens/poços de monitoramento

Nomenclatura	Coordenadas UTM		Profundidade (m)	Nível d'água (m)	Carga Hidráulica (m)
	N	E			
PM-1/S-2	7521650	320127	9,00	6,15	652,85
PM-2/S-4	7521592	320070	24,78	23,48	649,52
PM-3/S-5	7521532	320215	8,00	6,22	647,78
PM-4/S-6	7521347	320185	18,00	17,00	637,00
S-1	7521610	319942	8,55	seco	-----
S-3	-----	-----	1,70	seco	-----
S-7	7521479	320135	23,00	18,08	646,92
S-8	7521398	320078	20,00	19,66	644,40
S-9	7521336	320126	14,00	13,25	640,75
S-10	7521309	320030	30,00	28,70	647,30
S-11	7521629	320148	9,45	7,00	653,00
S-12	7521631	320140	12,45	10,48	650,52

Fonte: IPT (2014)

De acordo com os resultados apresentados pelo IPT (2014), observa-se que os valores de permeabilidade in situ determinados nas sondagens acima do nível d'água situaram-se entre $9,1 \times 10^{-6}$ cm/s e $4,4 \times 10^{-6}$ cm/s (Tabela 9), enquanto os resultados encontrados para os ensaios realizados abaixo do nível d'água variaram entre $1,1 \times 10^{-4}$ cm/s e $6,9 \times 10^{-5}$ cm/s (Tabela 10). Esses valores são compatíveis com solos compostos por areias finas siltosas e argilosas.

A Figura 18 mostra o mapa potenciométrico da área de estudo e seu entorno.

Tabela 9 - Resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade acima do nível d'água

Sondagem	K (cm/s)
S-7	$7,7 \times 10^{-6}$
S-8	$4,4 \times 10^{-6}$
S-9	$9,1 \times 10^{-6}$

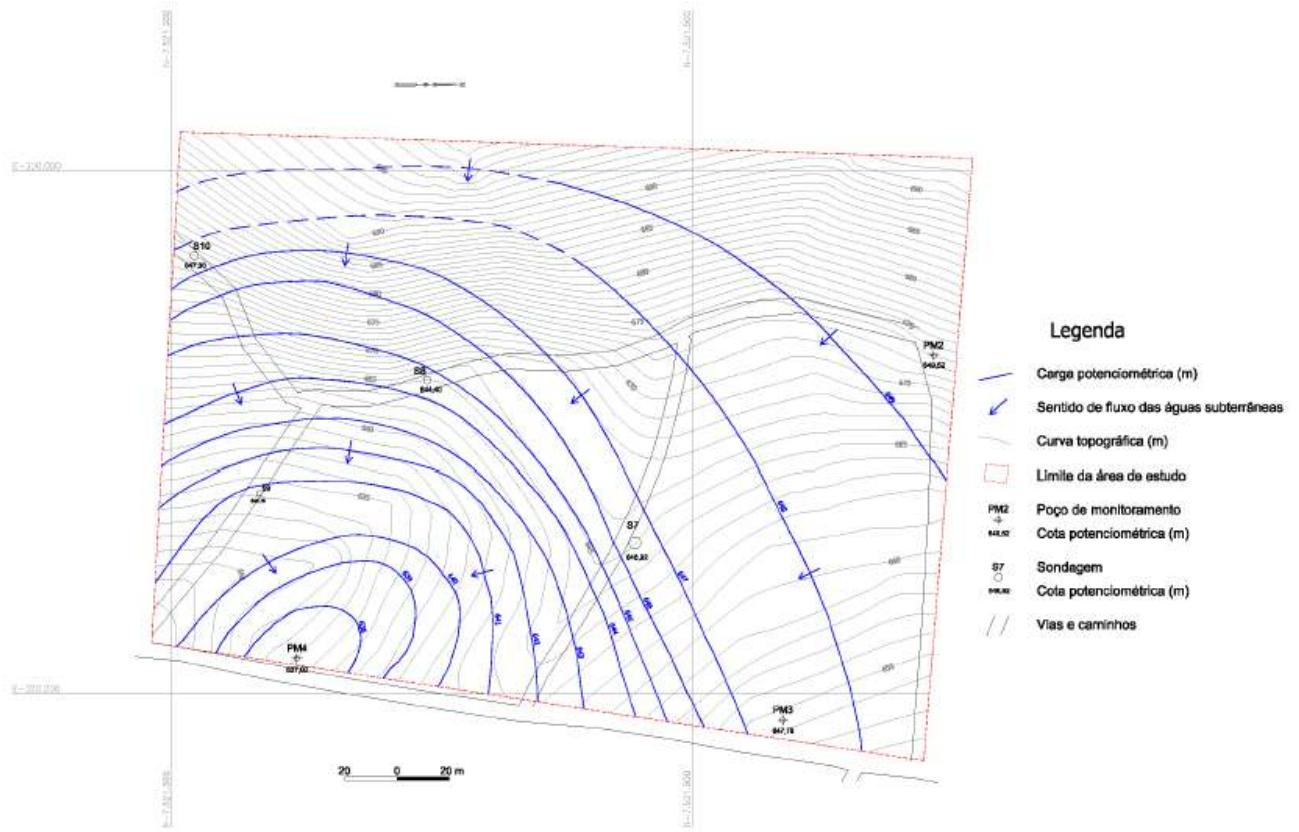
Fonte: IPT (2014).

Tabela 10 - Resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade abaixo do nível d'água

Poço de monitoramento	K (cm/s)
PM-2	$6,9 \times 10^{-5}$
PM-3	$1,07 \times 10^{-4}$
PM-4	$9,1 \times 10^{-5}$

Fonte: IPT (2014).

Figura 18 - Mapa potenciométrico da área estudada e seu entorno



Fonte: IPT (2014).

Este mapa potenciométrico mostra um comportamento homogêneo para o fluxo das águas subterrâneas na área estudada. O sentido predominante é de noroeste para sudeste. A configuração das curvas potenciométricas indica a existência de uma provável zona de descarga das águas subterrâneas fora da área, na parte sudeste. Este mapa mostra também que os gradientes hidráulicos variam entre $2,2 \times 10^{-2} \text{ m/m}$ na porção noroeste da área e $1,1 \times 10^{-1} \text{ m/m}$ na porção SW.

A Foto 7 apresentada a seguir mostra o mapa potenciométrico com a indicação do fluxo preferencial das águas subterrâneas, levantamento realizado com base nos dados obtidos durante as campanhas de coletas de amostras de águas subterrâneas em 2020.

De acordo com os resultados obtidos confirma-se o direcionamento do fluxo das águas seguindo o cimento da cota topográfica da área.

Foto 7 – Imagem mostrando o mapa potênciométrico sobreposto na área de estudo e entorno

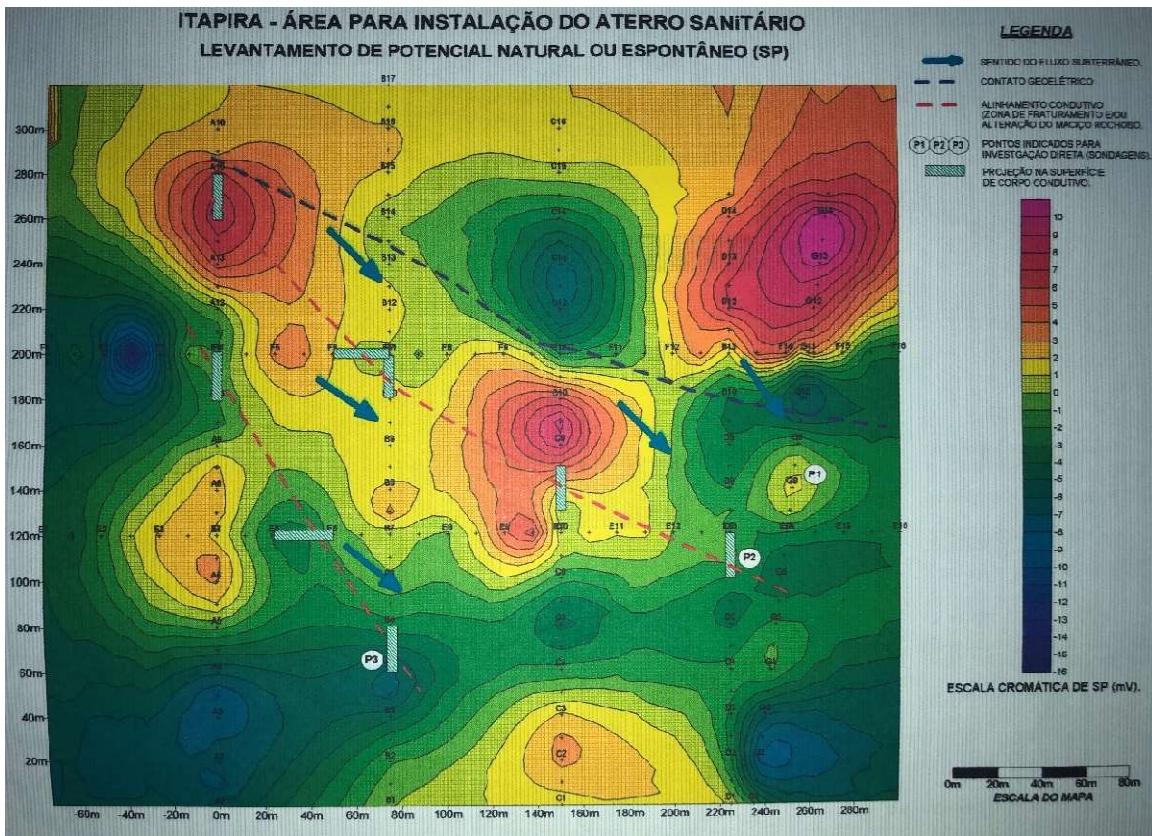


Fonte: GPS (2020)

c) Levantamentos geofísicos

O IPT (1998 e 2014) realizou levantamentos geofísicos para subsidiar a caracterização geológica e hidrogeológica da área, e identificar possíveis plumas de contaminantes e eventuais fluxos associados a condicionantes geológicos, através da utilização de métodos eletromagnéticos (EM) e de sísmica de refração. Os resultados dos levantamentos geofísicos demonstraram o sentido predominante do movimento das águas subterrâneas (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de potencial espontâneo da área de estudo

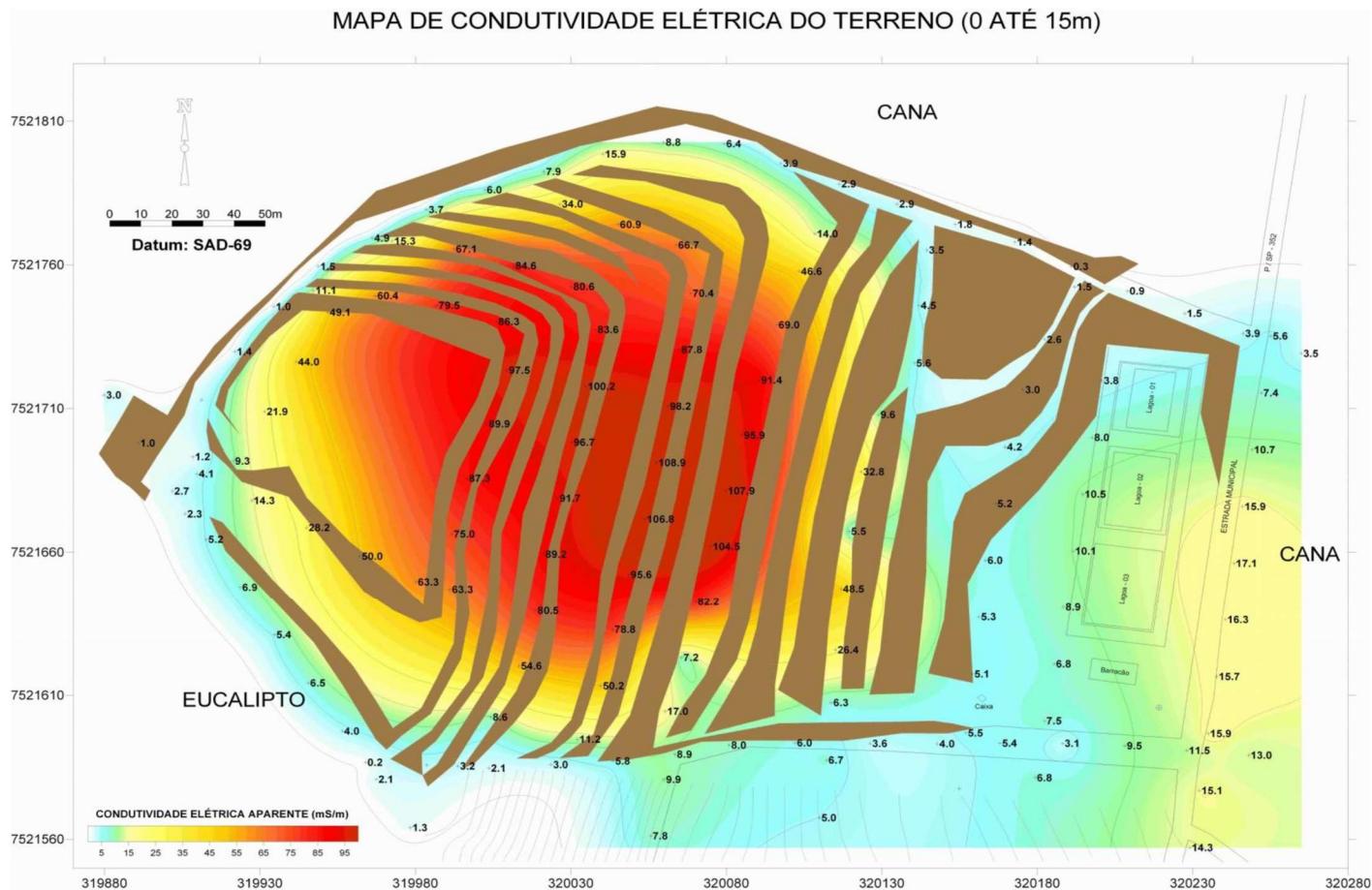


Fonte: IPT (1998)

O primeiro método utilizado foi EM – Eletromagnético - para a determinação das condutividades elétricas aparentes do terreno, parâmetro que pode ser um indicador da presença ou não de contaminação do subsolo associada ao lixiviado. As medidas de condutividade elétrica (mS/m) foram efetuadas a cada 20 m, o que significa espaçamento entre a bobina de transmissão e recepção igual a 20 m, tanto no modo dipolo horizontal (DH) como no vertical (DV), amostrando-se um volume da subsuperfície em dois níveis de profundidade, um é raso (0 a 15 m, modo DH) e outro abrangendo maiores profundidades (0 a 30 m, modo DV).

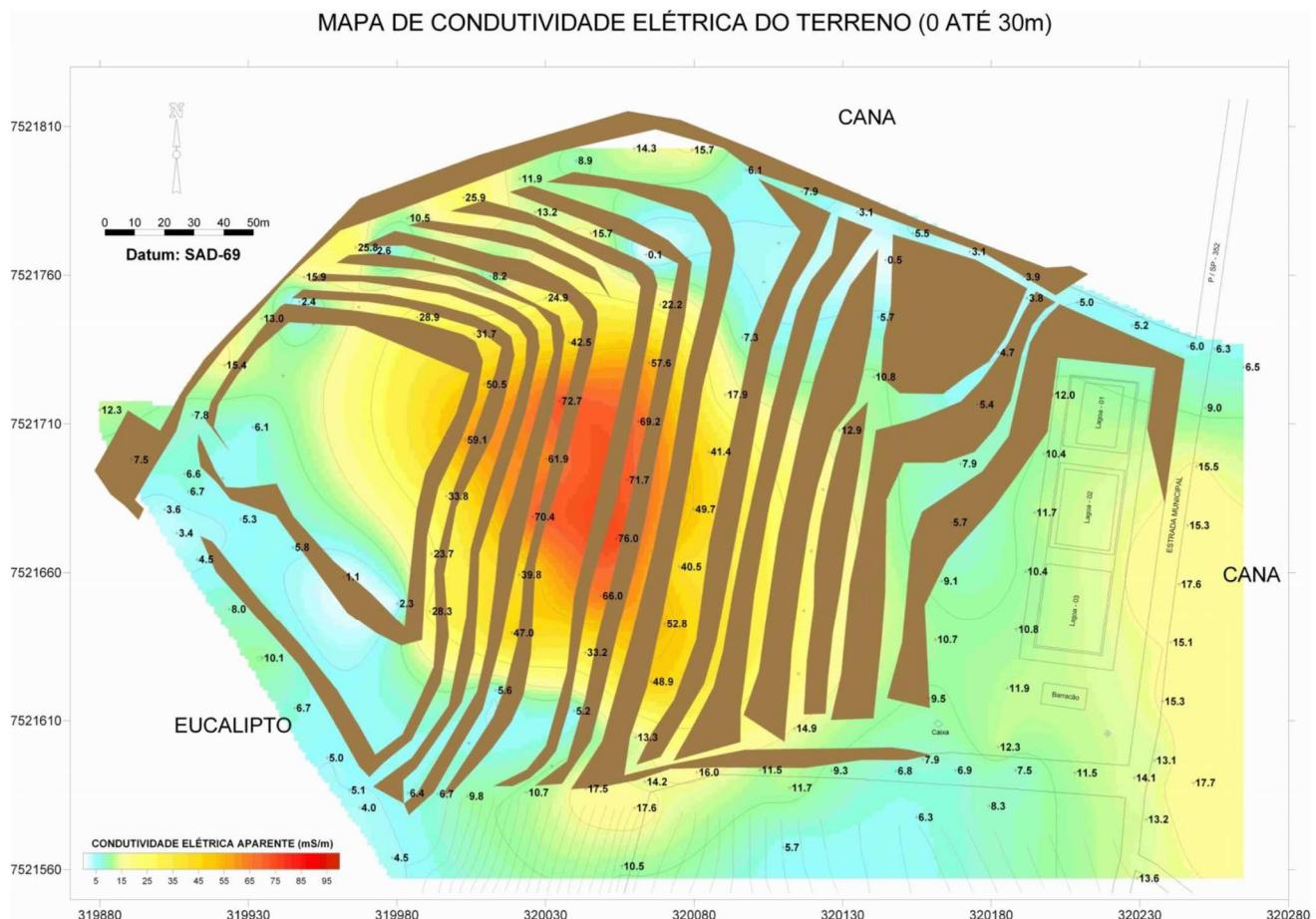
Na Figura 20 e Figura 21 são apresentados os resultados dos levantamentos de condutividade elétrica com o método EM na área de estudo. As figuras mostram o mapa de condutividade elétrica para faixas investigadas de 0 a 15 e 15 a 30 metros respectivamente.

Figura 20 – Mapa de condutividade elétrica do terreno (0 até 15 m)



Fonte: IPT (2014)

Figura 21 - Mapa de condutividade elétrica na área do aterro, correspondente a um volume de investigação mais profundo (0 a 30 m)



Fonte: IPT (2014)

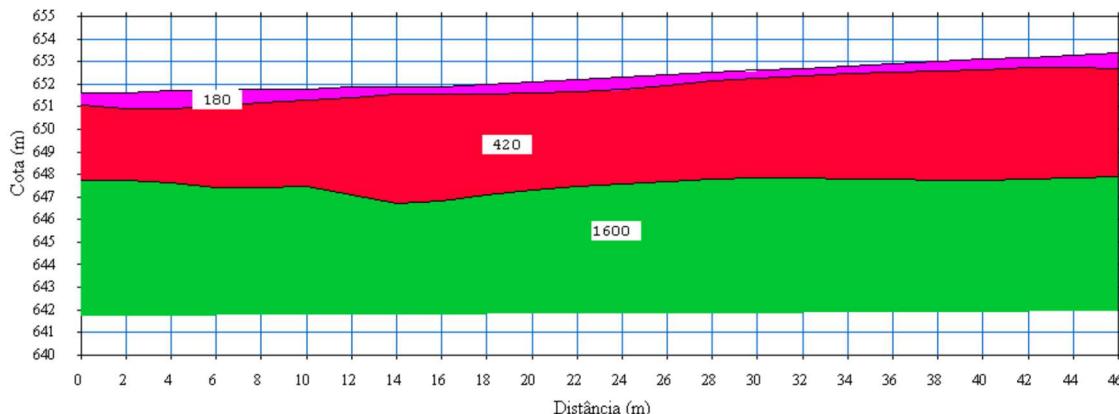
A distribuição das condutividades elétricas na Figura 20 indica uma porção central do aterro sanitário antigo com ocorrência de alta condutividade elétrica denotada pelo índice de cor vermelha (85 a 95 mS/m), já em profundidades maiores observa-se menos intensidade de cor, que significa menor condutividade (Figura 21). De forma geral, tanto para profundidades de 0 a 15 m como para profundidades de 0 a 30 m, na porção central do aterro sanitário antigo ocorre maior condutividade. As cores azuladas representam valores baixos de condutividade elétrica que podem estar relacionados ao background da área (em torno de 5 mS/m). À jusante da lagoa de lixiviado foram observados valores de condutividade elétrica acima dos valores de background, o que pode estar relacionado aos percolados oriundos delas.

O segundo método utilizado, sísmica de refração, foi aplicado a jusante da área de estudo para determinação das espessuras das litologias e estimativa da profundidade do nível saturado do terreno, o mesmo foi utilizado para fornecer dados mais precisos em relação ao método EM.

A Figura 22 apresenta a seção sísmica interpretada referente a esta linha de calibração. A interpretação dos resultados pelo IPT (2014) indica que a camada saturada corresponde ao estrato sísmico inferior, onde ocorrem valores de velocidade de propagação das ondas igual a 1600 m/s (1,6 m/ms). As duas camadas superiores, cujas velocidades são de 180 m/s e 420 m/s respectivamente (0,18 m/ms e 0,42 m/ms), correspondem à zona não saturada do terreno.

Com base nessas investigações pode-se concluir que o nível de água menos profundo está a aproximadamente a 6,15 metros, o que já tinha sido observado diretamente no poço de monitoramento PM-1.

Figura 22 - Seção sísmica da linha realizada próximo ao poço localizado à jusante do aterro sanitário antigo



Fonte: IPT (2014).

6.4.3.3 Recursos hídricos superficiais

Como já citado, o nível d'água menos profundo do lençol freático encontrado na área em estudo variou de 6,15 m (sísmica) a 6,22 m (sondagens), o que permite concluir que tal nível não aflora em superfície na área estudada. Também foi analisada a Foto 2, onde observa-se que ao sudoeste, a aproximadamente 625 m de distância do limite da gleba, encontra-se o Rio do Peixe. Também se observa que na parte leste da área estudada existe um corpo de água superficial de pequena magnitude, trata-se de um riacho que está localizado a mais de 255 m de distância do

limite da áreaa. Através de uma vistoria in loco, percorrendo toda a área de estudo e as áreas vizinhas, verificou-se que num raio de 160 m não existem cursos d'água superficiais.

6.4.3.4 Caracterização climatológica

O sistema internacional de Köeppen classifica o clima na região de Itapira como sendo do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno.

Itapira apresenta temperatura média anual de 21,3 °C, média máxima anual de 27,7 °C e média mínima anual de 14,9 °C. O período quente estende-se de outubro a março, com os meses mais quentes (verão) de dezembro, janeiro, fevereiro e março, quando as temperaturas máximas médias oscilam entre 28,8 e 29,5 °C. A partir de março as temperaturas começam a declinar, sendo que o período mais frio, junho, julho e agosto (inverno), as temperaturas mínimas médias oscilam entre 10,4 e 11,8 °C.

Em Itapira os índices anuais de precipitação atingem em média de 1.364,9 mm. O período úmido (semestre) estende-se de outubro a março, quando chove 1090,1 mm, o que representa quase 80% do total. O trimestre mais chuvoso é dezembro, janeiro e fevereiro, quando são registrados totais de chuva de 667,8 mm, que correspondem a cerca de 49% do total, sendo janeiro o mês mais chuvoso, alcançando 233,9 mm. O período menos úmido do ano é de abril a setembro com algo em torno de 274,8 mm, sendo que o menor índice, ao redor de 28 mm, foi registrado no mês de julho.

As médias mensais de precipitação pluviométrica para o período de 1998 a 2019 foram obtidas para análise da estação operada pelo SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itapira localizada nas coordenadas geográficas 22°26'31" e 46°49'14" na altitude de 662 m, constante no Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo.

6.5 Levantamento de dados administrativos e histórico da área

Através de levantamento de dados administrativos e do histórico da área foi possível elaborar a Tabela 11, onde constam os principais eventos relacionados ao empreendimento e os impactos provocados ao meio ambiente.

Tabela 11 - Principais eventos e cronologia de ocorrência do empreendimento

Ano	Evento
1997	Elaboração de projeto do empreendimento pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
1998	Início de implantação do aterro sanitário sem as devidas licenças ambientais
Setembro de 1999	A Prefeitura Municipal de Itapira, recebeu da CETESB um certificado de dispensa de Licença e continua a operação.
Fevereiro de 2005	O Aterro Sanitário teve sua licença de operação emitida pela CETESB e continua sua operação.
Setembro de 2011	A CETESB emitiu outra licença de operação com validade até 18 de julho de 2013. A partir daí, continuou a operar sem licença até seu encerramento em 2020.
Julho/2013 a outubro/2020	O aterro sanitário operou sem as devidas licenças ambientais.

Segundo o IPT (1998), o método escolhido para construção do aterro sanitário antigo foi o convencional, em função das dimensões da área, que totaliza 50.000 m², e das características topográficas do terreno. O mesmo contém um dique de terra na parte mais baixa, onde foi iniciada a construção da primeira camada, totalizando 16 camadas projetadas, alteando-se a partir da cota 656 m até a cota 688 m. Deveria ter inclinação nos taludes de 1(V):2(H) e bermas de 4 m. A capacidade estimada foi de 167.780 m³ e sua vida útil seria de 10,5 anos, para uma média de 30 t/dia de geração. O que se observa na prática é uma desconfiguração geométrica em toda a massa de resíduos depositados.

Pelas informações levantadas, esse empreendimento esgotou sua vida útil em 2009 e continuou operando de forma irregular, ocupando áreas adjacentes, fora dos limites da propriedade. Por esse e outros motivos operacionais, ao vencer sua licencia de operação, em 2013, não teve mais sua renovação, portanto operou de forma irregular até o ano de 2020, quando cessou o lançamento de resíduos nessa área.

6.6 Situação atual do local

As visitas ao local, um ano antes da paralização das atividades, permitiram retratar a situação do empreendimento (Foto 8, Foto 9, Foto 10, Foto 11, Foto 12e Foto 13). Na Foto 8 e Foto 9, observa-se que no platô superior existiam várias frentes de disposição com resíduos descobertos e

mal compactados. Também se observa platô irregular, não nivelado, permitindo a formação de empoçamentos de água de chuva, que infiltra e percola na massa de resíduos, gerando lixiviado. Evidenciam-se sulcos de erosão que deixam expostos os resíduos e aceleram a infiltração. Em relação à disposição dos resíduos observa-se que a operação era precária.

Foto 8 - Platô superior do aterro sanitário antigo mostrando as frentes de trabalho (setembro de 2019)



Fonte: COAMI (2019) - Imagem de *drone*.

Foto 9 - Platô superior do aterro sanitário antigo (outubro de 2019)



Fonte: COAMI (2019) - Imagem de *drone*

A Foto 10 mostra as más condições de circulação da estrada de acesso interna e lixo espalhado em suas margens.

Foto 10 - Estrada de circulação interna do aterro sanitário antigo (01/10/2019)



Autor: COAMI (2019)

A Foto 11 mostra o talude posterior ao noroeste do empreendimento, onde evidencia-se um talude contínuo de resíduos lançados sem nenhum critério de engenharia, ausência de bermas, e taludes intermediários e sem drenagem de águas pluviais e nem de gases.

Foto 11 - Maciço de resíduos na área em estudo (01/10/2019)



Autor: COAMI (2019)

A Foto 12 mostra um local dentro do empreendimento onde estão sendo depositados os RSU sem nenhum tipo de compactação e sem recobrimento.

Foto 12 - Frente de trabalho no aterro sanitário antigo (02/10/2019)



Autor: COAMI (2019)

A Foto 13 mostra afloramento de lixiviado pelos taludes do maciço e RSU sem recobrimento e sem compactação.

Foto 13 - Afloramento de lixiviado nos taludes do maciço (01/10/2019)



Autor: COAMI (2019)

A Foto 14 e Foto 15 mostram afloramento e empoçamento de lixiviado sobre berma do aterro sanitário antigo em dezembro de 2021.

Foto 14 - Afloramento de lixiviado



Autor: SAMUDIO (2021)

Foto 15 - Escoamento de lixiviados nos taludes do maciço de resíduos – situação em 2021



Autor: SAMUDIO (2021)

A Foto 16 mostra o platô superior sem inclinações adequadas e sem sistema de coleta de águas de chuva, provocando empoçamento, o que permite infiltração de líquidos na massa de resíduos e formação de lixiviado.

Foto 16 - Platô superior do aterro sanitário antigo - situação em dezembro de 2021



Autor: SAMUDIO (2021)

6.7 Validação dos focos

A Tabela 12 mostra a validação dos focos de contaminação em relação à probabilidade e relevância.

Tabela 12 – Prioridade e validação dos focos poluidores

Prioridade	Denominação do foco	Validação (probabilidade e relevância) do foco
1	Líquidos percolados	Confirmada a existência de infiltração de água de chuva na massa de resíduos devido à falta de sistemas de drenagem superficial e superfícies externas mal constituídas empossando água.
2	Gases, principalmente metano.	Confirmada a emissão de gases pela percepção de odores característicos de putrefação de matéria orgânica. Não existem sistemas de drenagem e tratamento de gases.

Fonte: Autor

A Tabela 13 mostra o potencial de contaminação do efluente para o solo, água e ar.

Tabela 13 – Potencial de contaminação do efluente para os meios físicos.

Prioridade	Denominação	Probabilidade e relevância
1	Lixiviado	Existem evidências visuais da geração de líquidos percolados e poluição do solo, das águas subterrâneas e superficiais no local
2	Gases	Existem evidências da emissão de gases pela percepção de mau cheiro e pela existência de borbulhamento superficial quando há formação de alagamento pela ocorrência de chuvas.

A Tabela 14 mostra a prioridade em relação a toxicidade, mobilidade e quantidade das substâncias. A probabilidade e relevância da substância foram estabelecidas levando em consideração o estado físico da matéria, a velocidade e mobilidade nos diversos compartimentos, e o potencial de poluição ou contaminação de recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Por exemplo, os gases, apesar de se mobilizarem com maior velocidade, são rapidamente dispersos e

diluídos na atmosfera. Já o lixiviado permanece em concentrações que podem modificar a qualidade dos corpos de água que eventualmente podem ser utilizados para abastecimento público.

Tabela 14 - Prioridade em relação a toxicidade, mobilidade e quantidade de substâncias.

Prioridade	Denominação	Probabilidade e relevância
1	Líquidos percolados	Alta
2	Gases	Moderada

6.8 Desenvolvimento de modelo conceitual preliminar

Com as informações levantadas na avaliação preliminar conclui-se que o modelo conceitual preliminar é do tipo MCA 1A. A classificação como MCA 1A se aplica porque foi possível identificar todas as áreas fonte existentes (atuais e pretéritas) e obter dados e informações adequadas e completas para cada uma delas. Assim, foi possível elaborar um Modelo Conceitual que identifica e localiza: as fontes potenciais de contaminação (ou até mesmo fontes primárias de contaminação); as substâncias químicas de interesse associadas a cada uma dessas fontes; as características dos materiais presentes em subsuperfície (aterro, solo, sedimento, rocha); e o uso e ocupação do solo.

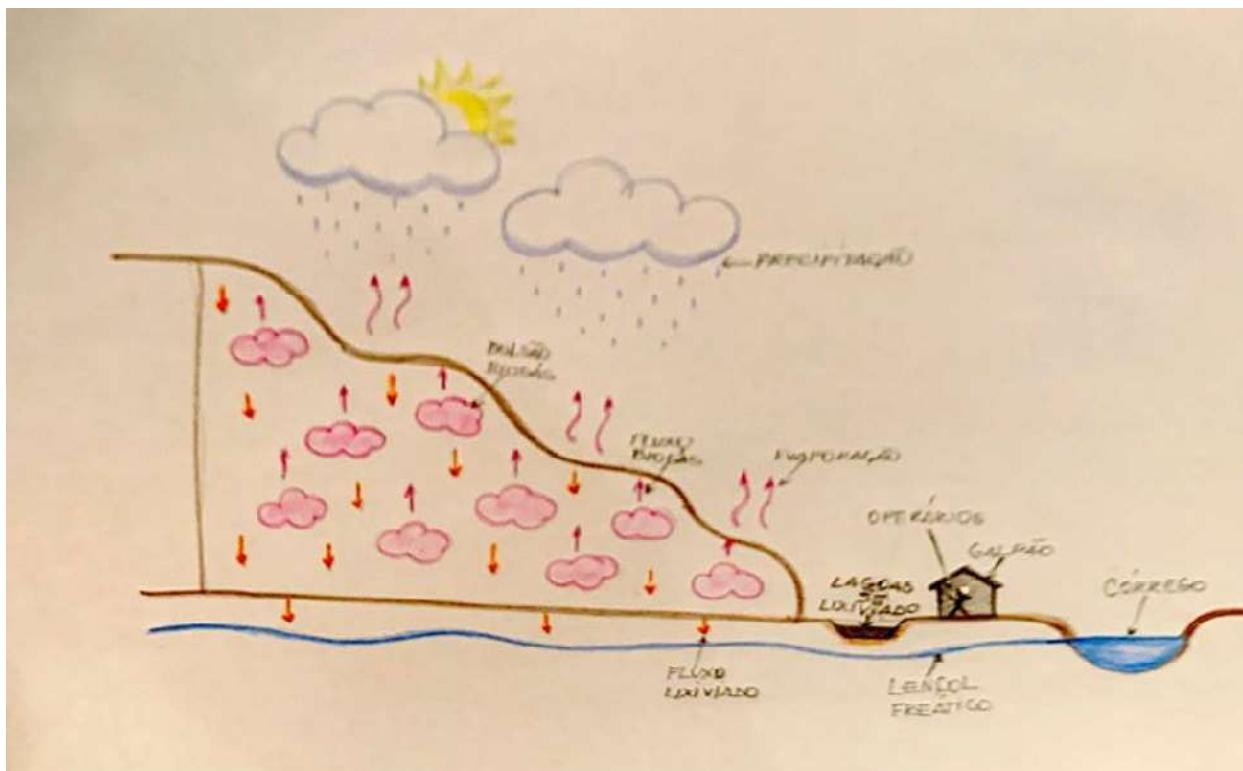
Esta avaliação preliminar evidenciou a inexistência de sistemas de proteção ambiental, destacadamente drenagem superficial de águas de chuva e drenagem de lixiviados e gases, assim como a falta de recobrimento adequado tanto nos platôs como nos taludes. Também se observa que ao norte da área existem movimentações do maciço de RSU, o que indica possibilidade de deslizamento da massa de RSU.

A área está devidamente cercada. Não existem residências e nem outras edificações num raio menor de 500 m do local. Também se verificou que não existem poços de captação de água nas proximidades da área em estudo.

Os dados apresentados na avaliação preliminar mostram indícios ou suspeitas de contaminação. Não se pode descartar a possibilidade de ter ocorrido deposição de resíduos industriais e de serviços de saúde no local, o que indica a necessidade de investigar a lista completa exigida pelo órgão ambiental.

Os compartimentos potencialmente afetados são o subsolo, as águas subterrâneas e as águas superficiais dos córregos na vizinhança. O subsolo é composto de material areno-siltoso (aterro sanitário antigo) ou siltoso-arenoso (aterro sanitário novo). O nível d'água está acerca de 6 m de profundidade (mais profundo do que os 1,5 m entre a base do aterro e o topo do lençol freático preconizados pela NBR 13896 da ABNT. A Erro! Fonte de referência não encontrada. mostra esquema do modelo conceitual da área de disposição de resíduos estudada.

Figura 23 - Modelo conceitual da área de disposição de resíduos



Autor: Nascimento (2022)

Devido à falta de recursos e de tempo hábil para implantar um plano de investigação confirmatória de acordo com a normativa vigente (DD256/16 e DD 125/2021), a investigação confirmatória desta pesquisa acadêmica, para verificar a existência de passivos ambientais, foi baseada na interpretação e comparação dos resultados de três campanhas realizadas (IPT, 2014; GPS, 2019; GPS, 2020).

7. RESULTADOS – INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

7.1 Plano de investigação confirmatória

A investigação confirmatória baseou-se em resultados de monitoramento ambiental que foi realizado na área de estudo em 2014, 2019 e 2020. O monitoramento compreendia exames em amostras de água subterrânea, de águas superficiais e de gases. A análise conjunta de todos esses resultados pode ser considerada como uma investigação confirmatória segundo a Estratégia 1.

O monitoramento ambiental compreendia:

Atividade 1. Monitoramento de gases em 10 poços devidamente distribuídos na área de estudo para pesquisar a ocorrência de gases, principalmente metano e dióxido de carbono.

Atividade 2. Foram construídos três poços adicionais, totalizando sete, para monitoramento das águas subterrâneas, com profundidade variável dependendo da cota do nível d'água. A lâmina de água dentro do poço foi mantida com profundidade maior ou igual a 3 m.

Atividade 3. Foram realizadas visitas técnicas para delimitação horizontal e vertical dos resíduos depositados.

Atividade 4. Realização de amostragens de águas subterrâneas e superficiais nos poços de monitoramento e nos pontos selecionados no córrego adjacente para análises laboratoriais. Foram analisados os parâmetros estabelecidos pela CETESB na listagem completa (Tabela 4) e confrontados com a portaria de potabilidade em vigor do Ministério da Saúde e valores orientadores da listagem da CETESB (2014) em vigor.

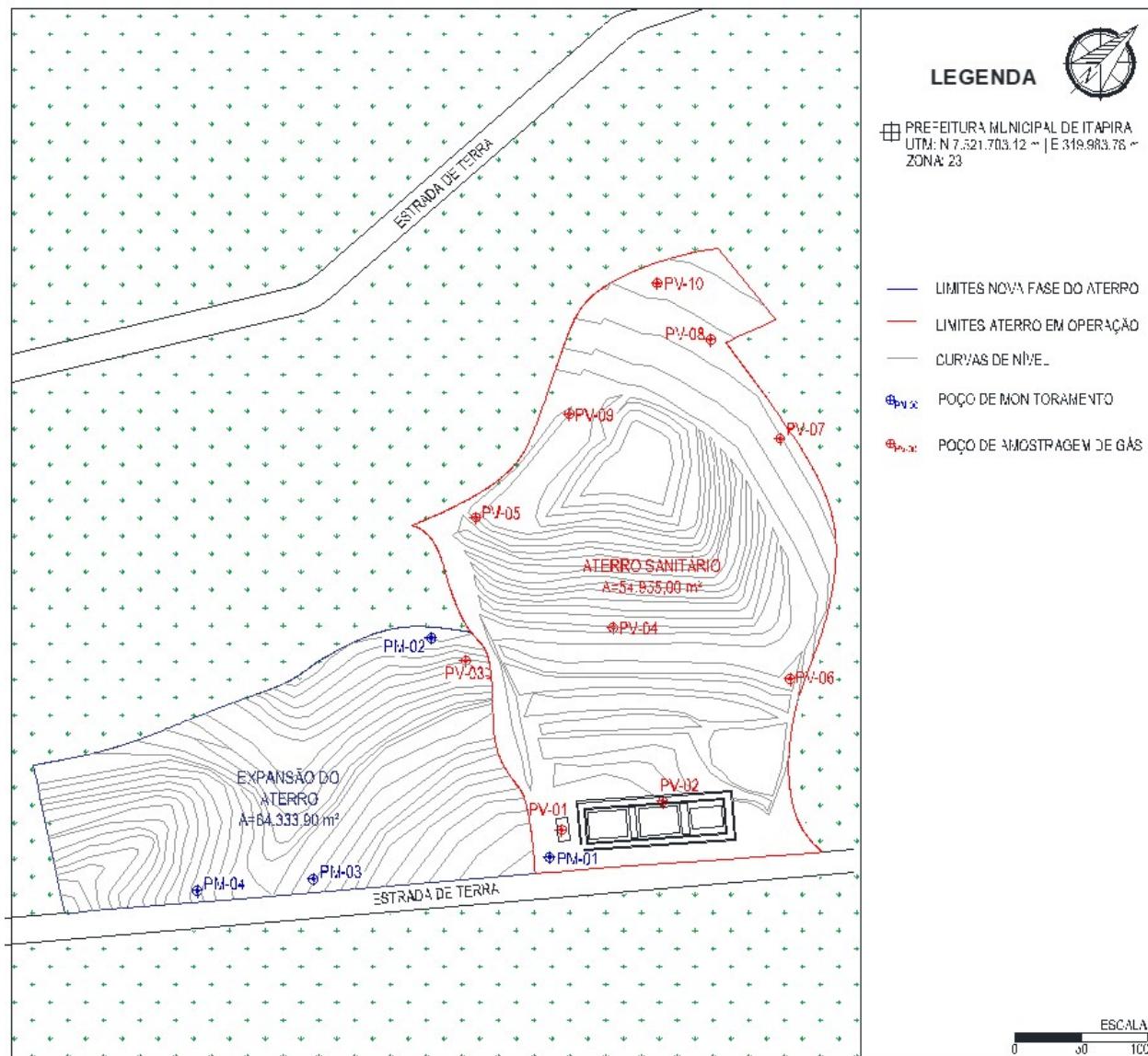
Atividade 5. Realização de amostragens e análises do lixiviado para verificar sua equivalência com esgotos sanitários, visando seu encaminhamento para tratamento em ETE – Estação de Tratamento de Esgoto. Os parâmetros analisados foram o artigo 19A do decreto estadual 8468/76.

7.2 Investigação da qualidade dos gases

Para o monitoramento dos gases foi prevista uma rede de poços para coleta de amostras dentro e no entorno da área em estudo, visando a verificação de migração e eventuais impactos sobre as águas subterrâneas, sobre o ar atmosférico e sobre o solo. Nessa etapa a GPS (2019) construiu 10 poços do tipo subslabs (Soil Gas survey - SGS) para pesquisar os gases no solo, que foram

distribuídos estrategicamente nos maciços e seu entorno, considerando ainda o entorno do barracão existente. O mapa de localização dos poços para coleta dos gases é mostrado na Figura 24 e Tabela 15.

Figura 24 - Mapa de localização dos poços de monitoramento de águas subterrâneas e gases.



Fonte: GPS (2019)

A Tabela 15 apresenta a identificação e localização dos poços de monitoramento de gases.

Tabela 15 - Indicação da instalação dos poços de coleta de gases

Identificação dos poços subslabs	Coordenadas UTM		Profundidade Sondagem (m)	Local de Instalação
	m E	m S		
PV-01	320.161	7.521.574	1,0 m	Local coberto em frente a antiga guarita desativada
PV-02	320.159	7.521.642	1,0 m	Em frente ao tanque de acumulo de chorume
PV-03	320.031	7.521.532	1,0 m	Posição sul, limite do aterro ao lado do poço de monitoramento PM-02
PV-04	320.038	7.521.643	1,0 m	Centro do aterro
PV-05	319.945	7.521.556	1,0 m	Posição sul, à montante do PV-03
PV-06	320.087	7.521.783	1,0 m	Posição norte, via de acesso limite do aterro
PV-07	319.949	7.521.783	1,0 m	Posição oeste, limite da atual área de disposição de resíduos
PV-08	319.859	7.521.747	1,0 m	Posição oeste, próxima ao acesso de veículos do aterro
PV-09	319.869	7.521.656	1,0 m	Posição sul, interior do aterro
PV-10	319.814	7.521.725	1,0 m	Posição sul, limite do aterro

Fonte: GPS (2019)

A campanha de amostragem de biogás foi realizada nos dias 22 e 23 de maio de 2019. As amostras coletadas foram submetidas a análises das seguintes substâncias químicas: dióxido de carbono, hidrocarbonetos C2 - C5, hidrogênio, metano, monóxido de carbono, oxigênio e nitrogênio. Na Tabela 16 são apresentados os resultados obtidos das análises dos gases extraídos dos poços de monitoramento.

Tabela 16 - Resultado das análises do biogás

	Resultados das amostras de BIOGÁS – MAIO DE 2019										
	UND	PV-01	PV-02	PV-03	PV-04	PV-05	PV-06	PV-07	PV-08	PV-09	PV-10
PARÂMETROS											
Metano	%	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	59,3	58,0	59,1	60,6	13,7	< 2,0
Hidrocarbonetos, C2-C5	ppm	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Dióxido de Carbono	%	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	30,0	35,0	35,0	34,0	5,0	< 1,0
Nitrogênio	%	79,5	79,8	78,6	79,5	8,6	4,4	5,0	5,0	68,2	79,6
Oxigênio	%	1,5	23,3	19,7	23,4	2,1	1,2	1,5	1,5	13,1	21,5
Monóxido de Carbono	mL/m³	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Hidrogênio	mL/m³	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0	< 30,0

Fonte: GPS (2019)

Os resultados das análises de biogás indicaram existência de metano nos principais poços PV05 até PV09, apesar de ser menos denso que o ar e tender a se elevar na atmosfera. Em vistoria ao local se observou que não existe sistema de drenagem de gases e sim uma camada espessa de solo que serve como cobertura dos resíduos, que pode estar contribuindo para dificultar a dispersão do biogás para a atmosfera. Nos demais poços não havia camada de cobertura.

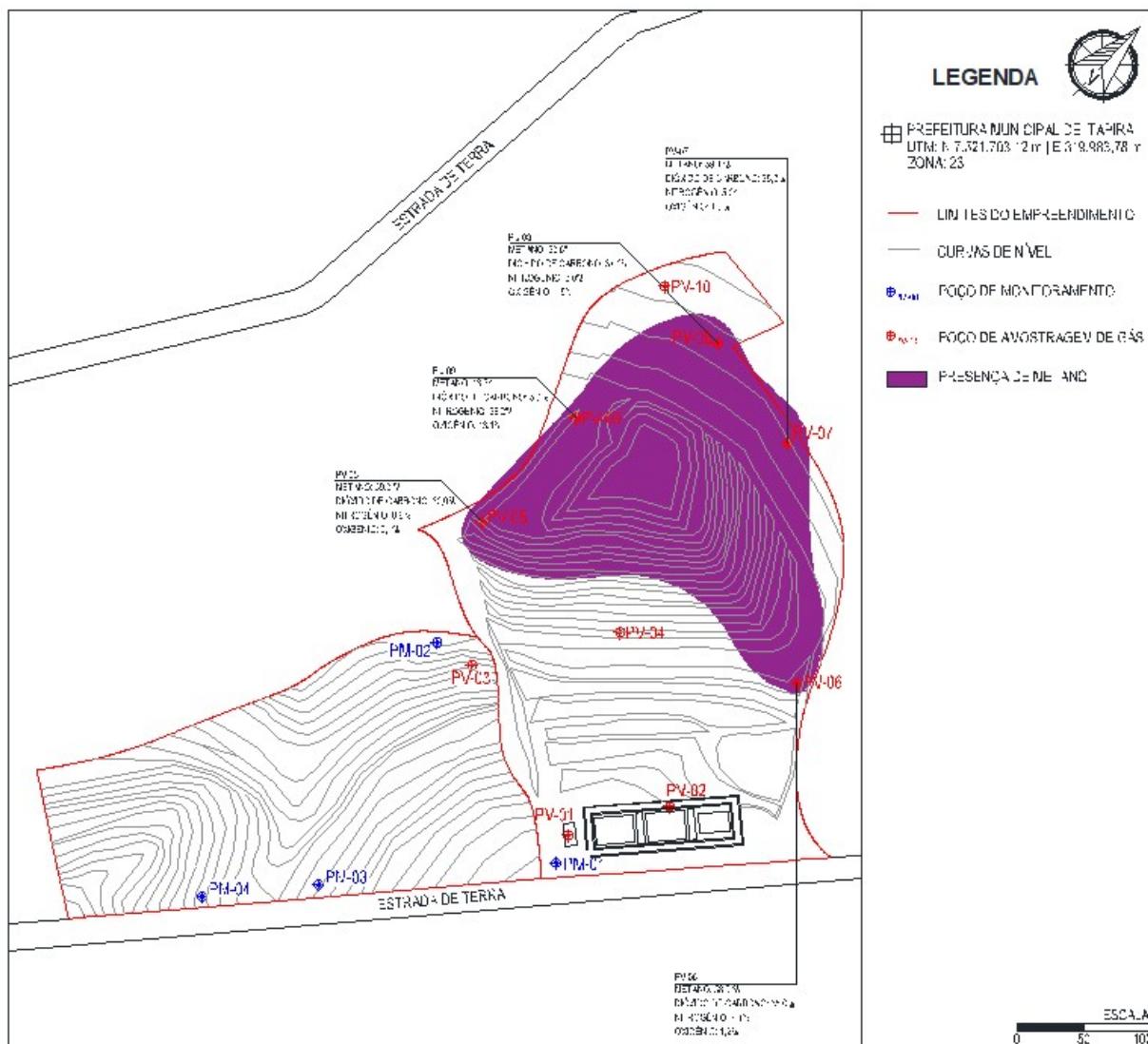
O metano é um gás inflamável, comumente encontrado em material orgânico devido à presença de bactérias decompositoras, apresenta faixa de inflamabilidade entre 5% a 15%, isto é, concentração do gás que em contato com o ar forma uma mistura inflamável na presença de uma fonte de ignição (mistura ideal). As concentrações abaixo ou acima dessa faixa não propagam chama, uma vez que a quantidade de gás é muito pequena (mistura pobre) ou muito elevada (mistura rica) para queimar ou explodir, conforme descrito no manual de produtos químicos da CETESB (2003).

Portanto verifica-se que o ambiente confinado sob a camada de resíduos o PV-9 possui condições que indicam que o metano está dentro da faixa de inflamabilidade, ou seja, 13,7% ($5\% < 13,7\% < 15\%$). Os poços PV-05, PV-06, PV-07 e PV-08 possuem condições que indicam que o metano está fora da faixa de inflamabilidade, variando de 58% a 60,6%.

No entorno da área de estudo não há espaços confinados onde possa ocorrer a migração dos gases, exceto por um barracão na parte inferior da área usado como apoio operacional, composto por dois banheiros e uma pequena sala com janelas. Apesar de os resultados não indicarem presença de metano no poço mais próximo (PV-01), deve ser mantida uma periodicidade de avaliação dos gases no barracão de maneira a minimizar riscos.

A Figura 25 mostra a localização dos poços investigados, dando ênfase à área hachurada onde existem maiores concentrações de metano.

Figura 25 - Localização dos poços de monitoramento.



Fonte: GPS (2019)

7.3 Investigação da qualidade das águas subterrâneas

Em relação as águas subterrâneas foram analisadas os resultados do monitoramento obtidos em 4 campanhas de amostragem (2014, IPT; 2019, GPS e 2020, GPS). A localização dos poços de monitoramento é apresentada na Tabela 17 e na Foto 17.

Tabela 17 – Localização dos poços de monitoramento das águas subterrâneas

Identificação dos poços de monitoramento	Coordenadas UTM		Profundidade Sondagem (m)	Local de Instalação
	m E	m S		
PM-01	320.127	7.521.650	9,00	À jusante do aterro encerrado
PM-02	320.070	7.521.592	24,78	Divisa do aterro sanitário encerrado e omódulo atualmente em operação
PM-03	320.215	7.521.532	8,00	À jusante da nova área e do aterro sanitário em operação
PM-04	320.185	7.521.347	18,00	À jusante da nova área e do aterro sanitário em operação
PM-05	320.145	7.521.417	17,70	À jusante da nova área e do aterro sanitário em operação
PM-06	320.122	7.521.248	12,50	À jusante da nova área e do aterro sanitário em operação
PM-07	319.983	7.521.252	35,50	À montante da nova área e do aterro sanitário em operação

Fonte: GPS (2000)

Foto 17 - Localização dos poços de monitoramento das águas subterrâneas



Autor: GPS (2020)

Nesta foto mostra-se o poço de montante denominado PM-07, no meio, do lado esquerdo, sendo que o mesmo não é de montante mediato.

A instalação de todos os poços de monitoramento das águas subterrâneas seguiu as especificações das Normas ABNT NBR 15495-1 (ABNT, 2007) e ABNT NBR 15495-2 (ABNT, 2008).

Os parâmetros analisados pelo IPT (2014) referem-se aos principais elementos físico-químicos definidos no padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS-2914, de 12 de dezembro de 2011 (Ministério da Saúde, 2011). Os resultados destas análises são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados das análises das amostras de águas subterrâneas realizadas em 2014

PARÂMETROS	Resultados das amostras de água em 2014					
	VMP MS 2914/2011	VMP MS 888/2021	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04
1,2 diclorobenzeno (mg/L)	0,01	0,001	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
1,4 diclorobenzeno (mg/L)	0,03	0,0003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Alumínio (mg/L)	0,2	0,2	0,08	0,61	0,22	0,24
Cádmio (mg/L)	0,005	0,003	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cor aparente (uH)	15	15	102	185	28	35
Ferro (mg/L)	0,3	0,3	0,44	0,89	0,29	0,20
Manganês (mg/L)	0,1	0,1	0,27	0,13	0,34	0,015
pH	6,0 a 9,5	6 a 9,5	5,69	6,45	5,57	6,55
Turbidez(uT)	5	5	20	58	4	11
VMP = VALOR MAIS PROVAVEL						
MS = MINISTÉRIO DA SAÚDE						

Fonte: IPT (2014)

Os resultados das substâncias químicas de interesse analisadas foram comparados com os Valores Máximos Prováveis da Portaria 2914 do Ministério da Saúde dos anos 2011 e 2017 e da Portaria 888 do MS, 2021. Comparando-se as duas Portarias, apenas os dicloroetanos e o cádmio

ficaram mais restritivos. Embora os resultados dessas substâncias apresentem valores abaixo dos limites estabelecidos nas portarias anteriores nada pode se concluir em relação à portaria 888 de 2021 porque os resultados ficaram inferior aos limites de quantificação dos aparelhos.

A campanha de amostragem de águas subterrâneas realizada em 2019 contemplou a coleta de amostras nos mesmos poços de monitoramento investigados em 2014.

A Tabela 19 apresenta as principais características físicas e hidráulicas (2019) dos poços de monitoramento das águas subterrâneas.

Tabela 19 - Principais características físicas e hidráulicas (2019) dos poços de monitoramento das águas subterrâneas.

MEDIÇÕES DE NÍVEL DE ÁGUA, ESPESSURAS DE FASE LIVRE, COTAS RELATIVAS E CARGAS HIDRÁULICAS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO				
Poço	Cota (m)	Profundidade (m)	N.A. (m)	Carga hidráulica
PM-01	659,00	9,00	3,93	655,07
PM-02	673,00	24,78	20,12	652,88
PM-03	654,00	8,00	5,49	648,51
PM-04	654,00	18,00	14,32	639,68

Fonte: GPS (2019)

Desta vez as amostras coletadas foram submetidas a análises dos seguintes parâmetros: Compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, varredura de metais, TPH, PCBs, carbono orgânico e inorgânico, cianeto, cloreto, nitrato, sulfato, nitrogênio amoniacal, alcalinidade, ácidos haloacéticos e Dalapon. Os parâmetros novos foram incluídos atendendo à DD/256-CETESB.

Na Tabela 20 estão relacionados os resultados das análises químicas obtidos que ultrapassaram os limites impostos pela portaria MS 2.914 Anexos I, VII, X ou valores orientadores da DD/256-CETESB. Os demais parâmetros ficaram abaixo dos valores limite da MS 2.914, DD/256-CETESB ou DD/125/2021.

Tabela 20 - Resultado das análises que superaram os limites MS 2914 e DD/256-CETESB

PARÂMETROS	Resultados das amostras de água em 2019						
	UND	V. Interv.	DD 125/2021	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04
pH		6,0 a 9,5*	-	6,12	5,75	4,99	5,80
Cloreto	mg/L	250**	-	32,50	350,8	6,50	9,00
Nitrato	mg/L	10*	100	2,90	90,60	6,70	< 0,90
METAIS							
Ferro	mg/L	0,3**	-	3,13	0,22	0,11	0,30
Manganês	mg/L	0,1**	-	0,06	0,67	< 0,01	0,75
Bário	mg/L	0,7	0,7	0,27	4,76	0,09	0,32

*Valores máximos permitidos (VMP) constantes do anexo VII da Portaria MS 2914, a qual estabelece os limites dos padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

** Valores máximos permitidos (VMP) constantes do anexo X da portaria 2914, o qual estabelece os limites dos padrões organolépticos de potabilidade.

Fonte: GPS (2019) adaptado por SAMUDIO (2021)

Observa-se, na Tabela 20, que os parâmetros que ultrapassaram os limites estabelecidos foram: pH (PM02, PM03 e PM04), cloreto (PM02), nitrato (PM02), ferro (PM01), manganês (PM02 e PM04) e bário (PM02). Com relação ao nitrato a concentração superou ao valor de intervenção da DD256/16 porém ficou abaixo do limite de intervenção estabelecido pela DD 125/2021.

As campanhas de amostragem de águas subterrâneas realizadas em 2020, contemplaram a coleta de 8 (oito) amostras, 7 em poços de monitoramento de águas subterrâneas e uma de branco de campo. Quatro amostras de água foram coletadas nos poços de monitoramento existentes e 3 em poços novos, 2 instalados a jusante e 1 a montante da área em estudo.

As amostras coletadas foram submetidas a análises dos seguintes parâmetros: condutividade elétrica; sólidos totais dissolvidos; dureza total; pH; óleos e graxas; cor aparente; turbidez; DBO; alumínio total; alumínio dissolvido; arsênio; bário; cádmio; cobre; chumbo; cloretos; cromo total; ferro total; ferro dissolvido; fosfato total; magnésio; manganês total; manganês dissolvido; mercúrio; nitrogênio nitrito; nitrogênio nitrato; nitrogênio amoniacial; nitrogênio kjeldahl; potássio; sulfato; selênio; sódio; zinco; BTEX, por faixa; fenol; diclorometano; tricloroetileno; cloreto de metíleno; cloreto de vinila; coliformes totais e termotolerante; Pseudomonas aeruginosa; Salmonella; bactérias heterotróficas e Escherichia coli. Na Tabela 21 são apresentados os resultados obtidos das análises químicas realizadas em 2020.

Os parâmetros que ultrapassaram os limites estabelecidos foram pH (PM01,PM03 e PM04), cor aparente (PM02, PM04 e PM05), coliformes fecais (PM01), E.coli (PM01), bário (PM02), ferro (PM01,PM07), ferro dissolvido (PM01 e PM07) e manganês dissolvido PM01, PM02 e PM07).

Tabela 21 -Resultados das amostras de águas subterrâneas em 2020.

PARÂMETROS	Valor Intervenção	Valor DD125/2021	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07
pH	6,0 a 9,5*		5,36	6,77	5,93	5,72	6,19	6,64	6,31
Cor aparente (mgPtco/L)	15,0**		5,00	100,0	<5,0	100,0	70,0	5,0	5,0
Cloreto (mg/L)	250**		39,6	337,5	1,0	<0,05	1,0	<0,5	1,5
Coliformes totais (UFC/100ml)	Ausência***		<0,05	presença	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)	-		<0,05	presença	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bactérias heterotróficas (UFC/100ml)	-		<0,05	<2,0	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Escherichia coli (UFC/100ml)	Ausência***		<0,05	presença	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pseudomonas aeruginosa (NMP/100ml)	-		<0,05	1,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bálio (mg/L)	0,7	0,7	0,309	3,53	0,099	0,185	0,087	0,268	0,288
Ferro (mg/L)	0,3**		4,82	<0,05	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	2,27
Ferro dissolvido (mg/L)	0,3**		4,03	<0,05	0,23	<0,05	<0,05	<0,05	2,25
Manganês dissolvido (mg/L)	0,1**		0,13	0,29	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	1,77

.* valores máximos permitidos (VMP) constantes do Anexo VII da Portaria MS 2.914, o qual estabelece os limites dos padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

** valores máximos permitidos (VMP) constantes do Anexo X da Portaria MS 2.914, o qual estabelece os limites dos padrões organolépticos de potabilidade.

*** valores máximos permitidos (VMP) constantes do Anexo I da Portaria MS 2.914, o qual estabelece os limites dos padrões microbiológicos para consumo humano.

Fonte: GPS (2020)

7.4 Investigação da qualidade das águas superficiais

A campanha de amostragem de águas superficiais, realizada em 2020, contemplou a coleta de amostras em córrego afluente do Rio do Peixe. Esse córrego está localizado diretamente à jusante da área estudada e possui nascente sob área de influência do lençol freático proveniente do aterro sanitário; portanto, ele está potencialmente comprometido. Também foi coletada uma amostra à montante, em ponto localizado em bacia oposta à bacia da área estudada, para comparação.

As amostras coletadas foram submetidas a análises dos seguintes parâmetros: pH, Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Sólidos em Suspensão e Solução, Cloretos, Sulfatos, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Nitrito, Nitrogênio Nitrato, Nitrogênio Total, Fósforo, Potássio, TOC, Óleos e Graxas, Ferro Total, Alumínio, Zinco, Chumbo, Cádmio, Cromo Total, Cromo Hexavalente, Mercúrio, Coliformes Totais e Termotolerantes e Bactérias Heterotróficas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 22. Esses resultados foram comparados com a Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005, Artigo 14 – padrões de qualidade de águas doces Classe 1.

Tabela 22 – Resultados obtidos nas análises realizadas em águas superficiais em 2020.

Parâmetros	Valor de intervenção CONAMA 357 / 2005	Jusante	Montante
Oxigênio dissolvido (mg/L)	>6,0	3,47	2,95
Fósforo (mg/L)	0,1	0,43	0,05
Óleos e graxas (mg/L)	Virtualmente Ausentes	<10,0	22,4
Cádmio (mg/L)	0,001	4,32	3,21
Ferro (mg/L)	0,3	6,82	0,27

Fonte: GPS (2020)

No ponto de coleta, a jusante da área de disposição, as concentrações das substâncias químicas de interesse que ultrapassaram ou ficaram abaixo dos limites dos valores de intervenção foram oxigênio, fósforo, óleos e graxas, cádmio e ferro. Já no ponto de coleta, a montante da área de disposição, as concentrações das substâncias químicas de interesse que ultrapassaram os limites dos valores de intervenção foram o oxigênio, óleos e graxas e cádmio; ou seja, as águas superficiais na região já são contaminadas por outras fontes, como a rodovia.

7.5 Investigação realizada no lixiviado

Os parâmetros analisados foram selecionados do Decreto do Estado de São Paulo 8.468 de setembro de 1976, Artigo 19A – padrões de qualidade de efluentes a serem lançados em sistema de tratamento de esgotos. Na Tabela 23 estão relacionados os resultados das análises químicas obtidos na campanha de coleta de efluente líquido, realizada em 2020, definido como lixiviado coletado em lagoa existente a jusante da área estudada.

Os resultados foram comparados com o Decreto 8.468 de setembro de 1976, Artigo 19A – padrões de qualidade de efluentes a serem lançados em sistema de tratamento de esgotos.

Tabela 23 – Resultados obtidos nas análises do lixiviado realizada em 2020,

Parâmetros	UND	Artigo 19A	Efluente - percolado
pH	-	6,0 à 10,0	7,8
Temperatura	°C	< 40,0	32,8
Materiais sedimentáveis	ml/L	20,0	1,8
Flúor com fluoreto	mg/L	10,0	0,6
Cromo hexavalente	mg/L	1,5	<0,025
Cianeto total	mg/L	0,2	<0,05
Sulfeto	mg/L	1,0	<0,05
Sulfato	mg/L	1.000,0	<10,0
Óleos e graxas	mg/L	150,0	41,0
Fenol	mg/L	5,0	<0,002
METAIS			
Arsênio	mg/L	1,5	<0,005
Cádmio	mg/L	1,5	<0,001
Chumbo	mg/L	1,5	<0,01
Cobre	mg/L	1,5	0,081

Continua Tabela 23			
Cromo	mg/L	5,0	0,064
Estanho	mg/L	4,0	<0,01
Níquel	mg/L	2,0	0,088
Prata	mg/L	1,5	<0,005
Selênio	mg/L	1,5	<0,005
Zinco	mg/L	5,0	0,128
Mercúrio	mg/L	1,5	<0,002
Ferro dissolvido	mg/L	15,0	1,550

Fonte: GPS (2020)

Observa-se na Tabela 23 que nenhuma das concentrações das substâncias químicas de interesse ultrapassou os limites estabelecidos pelo artigo 19º do decreto estadual 8.468 de 1976, portanto pode-se considerar o lixiviado como equivalente ao esgoto doméstico podendo ser enviado para ETE – Estação de Tratamento de Esgotos.

7.6 Discussão e Interpretação dos resultados das análises

Os resultados obtidos em 2014 indicaram que a água subterrânea, no local, é ligeiramente ácida, com valores de pH oscilando entre 5,57 e 6,45 e ocorrência dos elementos alumínio (PMs 2, 3 e 4), ferro (PMs 1 e 2) e manganês (PMs 1, 2 e 3) em teores pouco acima dos limites previstos nos VMPs.

Comparando-se os resultados de 2014 e 2019 verifica-se que as concentrações de metais são similares nos períodos amostrados, porém verificou-se o surgimento de cloreto e nitrato (PM 2), na campanha de amostragem de 2019, acima dos valores máximos permitidos pela portaria MS 2.914. O nitrato fica abaixo do limite da normativa DD125/2021 (90,6 mg/L < 100 mg/L).

A presença de nitrato pode estar diretamente relacionada à geração de maior quantidade de lixiviado devido ao aumento da área de disposição de resíduos.

As análises químicas das águas subterrâneas realizadas em 2019 mostraram que somente o bário no PM-02 obteve concentrações acima dos limites de intervenção conforme a DD/256/2016/E.

As substâncias ferro, manganês e cloreto obtiveram resultados acima dos valores máximos permitidos (VMP) constantes do Anexo X da Portaria MS 2.914, o qual estabelece os limites dos padrões organolépticos de potabilidade.

O nitrato obteve no PM-02 resultado acima dos valores máximos permitidos (VMP) constantes do Anexo VII da Portaria MS 2.914, o qual estabelece os limites dos padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

Em relação ao lixiviado pode-se observar que as cargas contaminantes se compõem de muitas substâncias diferentes, entre as quais pode se destacar: substâncias orgânicas, nitrogênio, em forma de nitrogênio amoniacial, nitratos, nitritos e amônia; halogênios inorgânicos, carbonatos, cloretos, sulfatos, íons sódio, potássio, cálcio; metais como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre etc. Pode-se confirmar a influência da lixiviação dos resíduos no lençol freático, mais precisamente no PM-02.

Nas análises químicas das águas subterrâneas em dezembro de 2020 é possível constatar que as concentrações de ferro e manganês nas amostras dos poços PM-01, PM-02 e PM-07 podem ser consideradas de ocorrência natural para o local de estudo tendo em vista a sua presença no poço de monitoramento à montante da área.

Verifica-se que o poço de monitoramento PM-02, localizado diretamente à jusante do aterro sanitário desativado, possui desconformidades em relação aos padrões microbiológicos coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli* além da presença de *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella*, bem como a presença de cloreto acima dos padrões de potabilidade e bário e manganês dissolvidos acima dos valores orientadores.

Considerando que as cargas contaminantes do lixiviado se compõem de grupo complexos de substâncias químicas de interesse, pode-se confirmar a influência do transporte dos líquidos percolados no lençol freático, mais precisamente no PM-02 por ser o poço de monitoramento localizado diretamente à jusante da massa de resíduos depositados.

Porém, conforme resultados obtidos nas análises dos poços de monitoramento localizados em cotas inferiores ao PM-02, pode-se afirmar que tais parâmetros não se deslocaram para fora da área de estudo.

Em relação aos resultados obtidos para as amostras de águas superfícies, verificou-se concentrações de fósforo e ferro em desacordo com a Resolução Conama 357, porém considerando o ferro com concentração natural da região e baixas concentrações de fósforo nas amostras de águas subterrâneas, não se pode confirmar que tais ocorrências são provenientes da área estudada. Em relação aos parâmetros oxigênio dissolvido e cádmio, ambos são verificados em condições similares tanto à jusante quanto à montante. Importante ressaltar que a presença de óleos e graxas nos resultados da amostra à montante não está relacionada à disposição de resíduos na área estudada, porém pode ser relativo a alguma intervenção não identificada nas áreas de influência do corpo d'água, inclusive pela sua proximidade à rodovia.

Em relação à amostra de efluente percolado verifica-se que o mesmo atende aos parâmetros definidos pelo Decreto 8.468 de setembro de 1976, Artigo 19A – padrões de qualidade de efluentes a serem lançados em sistema de tratamento de esgotos, portanto aptos a serem encaminhados para ETE devidamente regularizada pela CETESB.

Conforme potenciometria do fluxo das águas subterrâneas da área de estudo (Figura 18), verifica-se que essas movem do PM-02 para os poços PM-03 e PM-04. O PM-02 apresentou impacto nas águas subterrâneas devido ao aterro sanitário antigo, com contaminação por cloreto, nitrato e bário. No entanto, os poços PM-03 e PM-04 não foram impactados. Como eles estão em cotas mais baixas, pode-se concluir que a contaminação ficou confinada em torno do PM-02.

Os demais metais identificados nos poços PM-01, PM-02 E PM-04, ferro e manganês, mantiveram o mesmo padrão da campanha de monitoramento de 2014, estando acima dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria MS 2914, possivelmente derivados do solo local, pois o cloreto, que é mais móvel, não atingiu esses poços.

Considerando a inexistência de poços de captação de águas subterrâneas em um raio de 500 m da área, os riscos de ingestão das águas subterrâneas são minimizados.

Em relação ao monitoramento de biogás na área do aterro sanitário e no seu entorno imediato verifica-se uma migração preferencial dos gases avaliados para as cotas superiores do aterro. Tendo em vista a inexistência de ocupações ou receptores nessas áreas, considera-se que o biogás é liberado gradativamente para a atmosfera sem causar incômodos aos receptores. Porém, há de ser o impacto devido ao efeito estufa.

Recomenda-se a elaboração de um plano de investigação confirmatória seguindo a legislação atual, incluindo a avaliação do solo e execução de novos poços de monitoramento principalmente no flanco oposto ao divisor das águas, ou seja, ao nordeste.

O monitoramento do biogás deve ser realizado em virtude do encerramento da disposição de resíduos no aterro sanitário antigo e principalmente em caso de ocupações nas áreas contíguas em decorrência da sua expansão.

O monitoramento das águas subterrâneas deve acompanhar o deslocamento das substâncias químicas analisadas, sendo que a próxima campanha deve prever a realização de coletas de amostras de água nos afluentes do Rio do Peixe localizados à jusante da área do aterro, desta forma podendo confirmar se a qualidade do corpo água está sendo impactado devido a operação do aterro.

Recomenda-se também a instalação de medidas de estruturais de drenagem de águas pluviais e dos líquidos percolados, assim como a implantação de sistema de drenagem de gases e cobertura final que promova adequada impermeabilização na superfície do maciço e a efetivação de um plano de monitoramento geotécnico, o qual deverá contemplar a instalação de piezômetros e marcos superficiais.

8. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Após análise da literatura existente, conclui-se que aplicando os métodos para determinação de passivos ambientais, em áreas de disposição inadequada de resíduos vigentes no Brasil, pode-se fazer a avaliação do potencial de contaminação e consegue-se atingir os objetivos, corroborando a validade dos métodos.

A principais normativas levantadas foram: Resolução CONAMA 420, ABNT NBR 15.515-1/2011- Avaliação Preliminar, ABNT NBR 15.515-2/2011 Investigação Confirmatória e ABNT NBR 16210-2013 - Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas. No Estado de São Paulo, acrescem-se as normativas DD 038/2017 e DD 125/2021.

Em nível nacional e particularmente no Estado de São Paulo, essas normativas mostram ser excelentes instrumentos para o gerenciamento de áreas contaminadas e em especial de áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos.

A aplicação dessas normativas em um estudo de caso permitiu trazer os seguintes comentários e conclusões:

Existem problemas operacionais e construtivos na área de estudo:

- O aterro sanitário antigo, devido à operação mal controlada, transformou-se em uma área de disposição inadequada.
 - A falta de compactação do material depositado diminuiu a vida útil da área.
 - A falta de definição diária de frente de trabalho para disposição dos RSU acarretou ocupação inadequada da área, que não é aproveitada de maneira eficiente e eficaz.
 - O principal problema observado no aterro sanitário foi a falta de pessoal técnico capacitado para gerenciar e operar o empreendimento.

Caracterização da presença de contaminação no solo e na água subterrânea e migração de gases na área de estudo:

- Evidencias de emergência de chorume sobre as superfícies dos taludes.
- Evidência de confinamento de gases ao redor de alguns pontos monitorados.
- Existência de animais (aves e cachorros) e outros vetores de doenças.
- Em relação à contaminação e possível risco associado aos receptores, pode-se concluir que a mesma é de pequena magnitude, porque a pluma de poluição está concentrada em pequenos espaços dentro dos limites da área.

O exposto acima leva a recomendar a continuação do monitoramento ambiental até que seja comprovada a atenuação natural da poluição.

Essas conclusões aplicam-se a muitos locais de disposição de resíduos no Brasil. Embora muitos aterros sanitários sejam projetados e licenciados seguindo os métodos e técnicas recomendados pela engenharia e pelas normas legais em vigor, sua operação requer cuidados permanentes e intensivos, para evitar que se transformem em lixões. Esses cuidados incluem compactação dos resíduos, definição da frente de trabalho, envolvimento de pessoal qualificado, disponibilização de maquinário dedicado ao aterro sanitário, monitoramento contínuo, entre outros.

Nesta pesquisa foi possível verificar o grau de contaminação existente na área de disposição através da análise de dados de campanhas de monitoramento anteriores. Portanto, esta pesquisa mostrou que, na eliminação de locais de disposição inadequada de RSU prevista pela PNRS, os resultados de exames de SQI, oriundos de planos de monitoramento ambiental exigidos pelas agências de controle ambiental, podem ser usados na investigação confirmatória. Assim, podem ser economizados recursos financeiros que são tão escassos nas municipalidades menores, que geralmente por esse motivo operam essas áreas de disposição de resíduos de forma precária.

Dependendo do histórico da disposição de resíduos levantado na investigação preliminar e com base na composição do lixiviado e biogás obtida na revisão bibliográfica, seria possível limitar o número de substâncias poluentes investigadas, também barateando a investigação confirmatória. Porém, é difícil levantar o histórico completo, podendo ter ocorrido deposição de resíduos de saúde e resíduos industriais no local, o que indica a necessidade de investigar a lista completa exigida pelo órgão ambiental.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama do Resíduo Sólido no Brasil. 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2010-2019/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama do Resíduo Sólido no Brasil. 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2010-2019/>. Acesso em: 28 nov. 2020.

ALMEIDA, F. T. et al. Avaliação preliminar da qualidade da água em torno da área de disposição dos resíduos sólidos urbanos (ADRSU) da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ. Rev. Águas subterrâneas [S. l.], n. 1, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23372>. Acesso em: 29 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 13.896: Aterros de Resíduos não Perigosos: Critérios para Projeto, Implantação e Operação - Procedimento. Rio de Janeiro. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15.492: Sondagem de Reconhecimento para fins de Qualidade Ambiental – Procedimento. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15.495 - 1: Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Construção. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15.495 – 2: Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares - Parte 2: Desenvolvimento. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15.515 – 1: Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15.515 – 2: Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea – Parte 2: Investigação Confirmatória. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15.847: Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento: Métodos de Purga. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 16.210: Modelo Conceitual no Gerenciamento de Áreas Contaminadas - Procedimento. Rio de Janeiro. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 16.435: Controle da Qualidade na Amostragem para fins de Investigação de Áreas Contaminadas – Procedimento. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 8.419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos – Procedimento. Rio de Janeiro. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR ISSO/IEC 17.025: Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Rio de Janeiro.

BORBA, S. M. Análises de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2006.

Braga, E. A. S. et. al. Influência da proximidade de um aterro sanitário na qualidade das águas. Águas Subterrâneas, 34(2). 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29934>. Acesso em janeiro de 2021.

BRITO FILHO, L. F., Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

CISBRA - Consorcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas. Plano Regional de Gestão Associada e Integrada de Resíduos Sólidos para a Região do Circuito das Águas. Plano Cidades Limpas. São Paulo. 2013.

COAMI – CONSULTORIA AMBIENTAL E MINERAÇÃO LTDA. Projeto de Encerramento e Recuperação da Área do Aterro Sanitário de Itapira. Itapira. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – Pasta Técnica do Aterro sanitário de Itapira.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - Relação de áreas contaminadas. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>. Acesso em 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>. Acesso em 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014. 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. São Paulo: CETESB. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 038/2017/C. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 125/2021/E DE 09 DE DEZEMBRO DE 2021. Dispõe sobre a aprovação da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo. - 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 256/2016/E, DE 22 DE NOVEMBRO DE 2016. Dispõe sobre a aprovação dos “Valores

Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016” e dá outras providências.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. DECISÃO DE DIRETORIA N° 038/2017/C que dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia para Avaliação do Potencial de Contaminação em Imóveis. 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 039/2017 - Dispõe sobre os trâmites administrativos e as atribuições referentes à aplicação da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. 2001 (em atualização). Disponível em: cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao/. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. 2001 (em atualização).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB. 73 p. 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Resíduos sólidos. Índice de qualidade dos aterros. Disponível em: Acesso em: 25 abr. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos. São Paulo. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos - 2019.

Cristina L. S. Sisinno; Josino Costa Moreira. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. Cadernos de saúde pública, Vol.12(4), pp.515-523. 1996.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.

DECRETO 59.263/2013 que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas.

DECRETO Nº 8.468, de 08 DE SETEMBRO DE 1976 (Atualizado com redação dada pelo Decreto Nº 54.487, de 26/06/09, que passa a vigorar em 180 dias após sua publicação em 27/06/09) Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

EQÜI - SANEAMENTO AMBIENTAL LTDA. Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Itapira. Itapira. 2010.

FARIA, M. Biogás produzido em aterros sanitários – aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético. Monografia apresentada no departamento para Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. 2010.

GOUVEIA, N.; PRADO, R. R. Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos. Rev. Saúde Pública, v. 44, n. 5, p. 859-866, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102010005000029>.

GPS - ENGENHARIA AMBIENTAL E SEGURANÇA DO TRABALHO LTDA. Plano de Monitoramento Ambiental. Itapira, 2019.

GPS - ENGENHARIA AMBIENTAL E SEGURANÇA DO TRABALHO LTDA. Plano de Monitoramento Ambiental. Itapira, 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. - Elaboração de Plano de Encerramento do Aterro Sanitário de Itapira e Estudos de Viabilidade Ambiental em Área Contigua. São Paulo: IPT, 2014. (IPT Relatório Técnico no137.171-205).

Lei Estadual nº 13.577/2009, Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas.

Lei Federal nº 14.026/2020, atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984.

Lei Federal nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos.

MINISTERIO DA SAÚDE. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade

MMA. RESOLUÇÃO No 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

BETIO, M.M.; SANTOS, M. M. (2017). Contaminação das águas subterrâneas por lixões desativados: avaliação da antiga área de disposição final de resíduos sólidos de Rolândia – PR. Águas Subterrâneas. <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.28753>.

MONDELLI, G.; GIACHETI, H. L.; Hamada, J. Avaliação da contaminação no entorno do aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 169-182, 2016. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100120706>

SISINHO, C.I.S; ROSÁLIA, M. Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

SISINHO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. Cadernos de saúde pública, Vol.12(4), pp.515-523. 1996.

SMA - Secretaria de Meio Ambiente. Resolução SMA nº 15/2017- Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimento ou atividades relativas aos resíduos sólidos.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental., 2007.

SUSTEN CENTRISTA SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA. Estudo e Projeto Básico do Novo Aterro Sanitário Municipal de Itapira. Relatório Ambiental Preliminar. Itapira, 2016.

SUSTEN CENTRISTA SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA. Projeto Executivo do Novo Aterro Sanitário de Itapira.2017.