
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

ALICE DA COSTA PALAGI

**AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA NA ÁREA DO
ANTIGO ATERRO BENÓPOLIS NO MUNICÍPIO DE PORTO
ALEGRE - RS**

Porto Alegre

Julho 2014

ALICE DA COSTA PALAGI

**AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA NA ÁREA DO ANTIGO ATERRO
BENÓPOLIS NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - RS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Prof. Darci Barnech Campani

Coorientador: Eng. Paulo Robinson da Silva Samuel

Porto Alegre

Julho 2014

ALICE DA COSTA PALAGI

AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA NA ÁREA DO ANTIGO ATERRO
BENÓPOLIS NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - RS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **14/07/2014** pela Comissão Avaliadora constituída por:

Banca Examinadora:

.....
Eng. Civil Paulo Robinson da Silva Samuel – Coorientador

.....
Prof. Dr. Dieter Wartchow – IPH/UFRGS

.....
Eng. Químico Eduardo Fleck – DMLU/Porto Alegre

Conceito:.....

Dedico este trabalho a meus pais, Flávio e Ana, que sempre me apoiaram e, especialmente durante o período do meu Curso de Graduação, estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Flávio e Ana, e ao meu irmão, Rafael, por todo incentivo, apoio e carinho durante esta jornada.

A toda minha família por estar sempre tão presente na minha vida, em especial à tia Nara por ter me acolhido durante a minha graduação.

A todos os meus amigos, em especial àqueles que são também meus colegas de curso, por todos os momentos compartilhados e por tornarem a minha vida mais afortunada.

A todos os meus colegas da empresa Sapotec Sul Soluções Ambientais pelo companheirismo do dia-a-dia.

Ao Dr. Thomas Berger por todos os ensinamentos e oportunidades e pelas conversas durante a realização deste trabalho.

Aos Engenheiros Arceu Rodrigues e Eduardo Fleck do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre pelas discussões e fornecimento de informações.

Ao Geólogo Fernando Calza e Engenheiro Maércio Cruz da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Porto Alegre pelas discussões e fornecimento de informações.

A todos os professores pelo aprendizado que tornou possível a minha formação em Engenharia Ambiental, em especial ao Professor Darci Campani pela orientação deste trabalho e ao Engenheiro Paulo Samuel pela coorientação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino de qualidade.

“Não podemos resolver problemas usando o mesmo tipo de pensamento que usamos quando os criamos.”

Albert Einstein

RESUMO

PALAGI, A. C. **Avaliação do Risco à Saúde Humana na Área do Antigo Aterro Benópolis no Município de Porto Alegre - RS.** 2014. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

Este estudo teve por objetivo avaliar o risco à saúde humana através de análise da geração de biogás e lixiviado do antigo aterro de resíduos sólidos urbanos (RSU), denominado Aterro Benópolis, situado no bairro Humaitá, no município de Porto Alegre – RS. Para executar o presente trabalho e atingir o objetivo proposto foi realizada inicialmente uma avaliação preliminar, que nada mais é do que a obtenção de um diagnóstico da área em estudo. Durante a avaliação preliminar foram realizadas as seguintes atividades: caracterização do meio físico; estudo histórico de implantação e operação do aterro; inspeções em campo; consulta ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS); e análise de estudos realizados pela empresa Sapotec Sul Soluções Ambientais (SAPOTEC). Sequencialmente foram cruzadas todas as informações obtidas na avaliação preliminar, proporcionando uma análise geral da área do Aterro Benópolis e discussões acerca da geração de biogás e lixiviado e das áreas prioritárias quanto à saúde da população. Concluiu-se assim que o Aterro Benópolis é um aterro controlado, de resíduos sólidos predominantemente urbanos e caracterizado como consolidado quanto à degradação da matéria orgânica. A água do aquífero livre representa perigo à população existente na área, devido à presença de alguns metais acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009, mas o risco somente se configura se houver vias de exposição que coloque os receptores em contato com a água contaminada. Com relação ao biogás, pela interpretação dos dados existentes, não há risco à saúde humana, pois não há concentrações de metano suficientes para configurar tal. As recomendações realizadas visam à continuidade dos trabalhos na área, de forma a verificar se as condições ambientais observadas nas áreas avaliadas se mantêm em toda área do aterro, garantindo assim a ausência de risco à saúde humana.

Palavras-chave: disposição de resíduos, áreas contaminadas, gerenciamento, avaliação de risco.

ABSTRACT

PALAGI, A. C. **Human Health Risk Assessment at the Area of the Old Benópolis Landfill on the Municipality of Porto Alegre – RS**. 2014. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

This study aimed to assess the risk to human health through analysis of landfill gas and leachate generation from the old municipal solid waste landfill (MSW), called Benópolis Landfill, situated in the Humaitá neighborhood, in Porto Alegre – RS. To perform this assessment and achieve the proposed objective a preliminary evaluation was initially performed, which basically means to obtain a diagnosis of the study area. During the preliminary evaluation, the following activities were performed: characterization of the physical environment; historical study of the landfill implementation and operation; inspections in the field, database query on the Information Groundwater System (SIAGAS); and analysis of studies conducted by the Sapotec Sul Soluções Ambientais (SAPOTEC) firm. Sequentially, all information obtained in the preliminary evaluation was crossed, providing an overview of the Benópolis Landfill and discussions about the of landfill gas and leachate generation and priority areas regarding the population health. It is therefore concluded that Benópolis Landfill is a controlled landfill, basically composed of municipal solid waste and characterized as consolidated regarding the organic matter decay. The water in the unconfined aquifer represents a hazard to the population of the area due to the presence of certain metals above the limits established by CONAMA Resolution nº 420/2009, but the risk is only set if there are exposure pathways that place recipients in contact with the contaminated water. With respect to landfill gas, by the interpretation of existing data, there is no risk to human health, because there are no sufficient concentrations of methane to configure as such. The recommendations made point to the continuation of the work in the area in order to check whether environmental conditions observed in the evaluated areas are maintained in every area of the landfill, thus ensuring no risk to human health.

Keywords: waste disposal, contaminated lands, management, risk assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Distribuição percentual de gases em aterros de resíduos	27
Figura 02 - Variação das características do lixiviado de aterro de resíduos	29
Figura 03 - Diagrama de caracterização do risco	35
Figura 04 - Localização do Aterro Benópolis	38
Figura 05 - Sistema viário do Aterro Benópolis	39
Figura 06 - Mapa de solos do município de Porto Alegre	41
Figura 07 - Projeto de distribuição das quadras e sistema viário do Aterro Benópolis	44
Figura 08 - Primeiras quadras a serem aterradas com resíduos	45
Figura 09 - Seção transversal esquematizada de uma quadra aterrada	46
Figura 10 - Área verde do Aterro Benópolis	48
Figura 11 - Uso e ocupação do solo no Aterro Benópolis	53
Figura 12 - Poços cadastrados no SIAGAS	59
Figura 13 - Terrenos avaliados pela empresa SAPOTEC	61
Figura 14 - Remoção dos resíduos no Terreno 3	69
Figura 15 - Remoção dos resíduos no Terreno 4	74
Figura 16 - Remoção dos resíduos no Terreno 5	76
Figura 17 - Áreas prioritárias quanto ao risco à saúde humana	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Comparação da composição média dos resíduos residenciais americano e brasileiro	16
Tabela 02 - Distribuição percentual típica dos gases de aterros de RSU	26
Tabela 03 - Concentrações típicas de compostos presentes no lixiviado de aterros novos e consolidados	28
Tabela 04 - Dados dos poços cadastrados no SIAGAS.....	59
Tabela 05 - Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 1	63
Tabela 06 - Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 2.....	66
Tabela 07 - Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 3.....	70
Tabela 08 - Medição de gás metano no Terreno 4 antes da remoção dos resíduos.....	72
Tabela 09 - Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 4.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	14
3.2. A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO SOLO.....	17
3.2.1. Classificação dos Aterros de Resíduos	18
3.2.2. Breve Histórico da Disposição no Município de Porto Alegre.....	22
3.3. GERAÇÃO DE PRODUTOS EM ATERROS DE RESÍDUOS	24
3.3.1. Geração de Biogás.....	25
3.3.2. Geração de Lixiviado.....	27
3.4. GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	30
3.5. AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA.....	33
3.5.1. Riscos Inerentes a Aterros de Resíduos	35
4. ÁREA DE ESTUDO.....	38
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	39
4.2. HISTÓRICO DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO ATERRO.....	42
5. METODOLOGIA	49
6. RESULTADOS.....	51
6.1. ENTREVISTA	51
6.2. INSPEÇÃO DE RECONHECIMENTO DA ÁREA.....	52
6.3. CONSULTA AO SIAGAS.....	57
6.4. CONSULTA AOS ESTUDOS REALIZADOS PELA SAPOTEC.....	60
7. DISCUSSÕES.....	77
7.1. ANÁLISE GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	77

7.2. AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS E LIXIVIADO	78
7.3. ÁREAS PRIORITÁRIAS QUANTO AO RISCO À SAÚDE HUMANA.....	79
8. CONCLUSÕES.....	82
8.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE A – REGISTROS FOTOGRÁFICOS.....	91

1. INTRODUÇÃO

A existência de áreas contaminadas inerentes às atividades humanas do passado e ao desconhecimento à época dos problemas ambientais causados pelas mesmas, gera atualmente diversos problemas, além daqueles ao meio ambiente, como: danos ou riscos à saúde humana; restrição ao uso dos recursos hídricos (águas subterrâneas e superficiais); restrições ao uso do solo; e danos ao patrimônio público e privado, principalmente pela desvalorização das propriedades.

Com o intuito de prevenir, eliminar, quando possível, ou minimizar os riscos advindos de uma área contaminada, foi publicada em 28 de dezembro de 2009 a Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe de diretrizes para o gerenciamento e reabilitação destas áreas, de modo que elas possam voltar a ser utilizadas quando atingido risco tolerável para seu uso declarado ou futuro.

O gerenciamento de áreas contaminadas é dado em etapas, onde uma etapa subsidia a execução da próxima. A etapa inicial é a Avaliação Preliminar, que busca, de maneira geral, o equilíbrio entre os objetivos, as limitações de recursos, o tempo inerente a uma avaliação ambiental e a redução da incerteza advinda de um fato ou condição não conhecida. Nesta etapa são levantadas informações passadas e atuais da área em estudo, de forma a obter um diagnóstico que direcione as ações seguintes, caso necessário.

O antigo Aterro Benópolis, localizado no bairro Humaitá do município de Porto Alegre – RS, é uma área que se enquadra no descrito acima, pois entre o final da década de 70 e início da década de 80 este recebeu resíduos sólidos urbanos (RSU) sem que fossem tomadas as medidas necessárias de proteção ao meio ambiente. Agravante a esta situação, após o aterramento da área com RSU, esta se desenvolveu normalmente dentro do bairro, com a construção de diversas áreas comerciais e residenciais.

Desta forma, o presente trabalho buscou realizar um diagnóstico da área do antigo Aterro Benópolis, avaliando a partir dos dados obtidos o risco referente à geração de biogás e lixiviado a que a população do local pode estar submetida e gerando informações que subsidiem a continuidade do gerenciamento ambiental da área.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o risco à saúde humana através de análise da geração de biogás e lixiviado do antigo aterro de resíduos sólidos urbanos, denominado Aterro Benópolis, situado no bairro Humaitá, no município de Porto Alegre - RS. Para tanto, os objetivos específicos são:

- Caracterização física e histórica do Aterro Benópolis;
- Compilação de dados e informações básicas sobre o aterro;
- Identificação de áreas prioritárias quanto ao risco à saúde da população pela potencial exposição aos contaminantes;
- Análise da geração de biogás e lixiviado do aterro;
- Avaliação do risco à saúde da população;
- Subsídio a futuros trabalhos, como por exemplo, avaliações ambientais utilizando métodos diretos e análises químicas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo a NBR 10.004/2004 – Resíduos Sólidos – Classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com sua origem, os resíduos sólidos são classificados, conforme Art. 13 da Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, em:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Os resíduos sólidos são também classificados pela referida Lei de acordo com sua periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Segundo Bidone e Povinelli (1999), podem ser classificados ainda pelo seu grau de degradabilidade: a) facilmente degradáveis: matéria orgânica; b) moderadamente degradáveis: papéis, papelão e material celulósico; c) dificilmente degradáveis: pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira; d) não-degradáveis: vidros, metais, plásticos, pedras, terra, entre outros.

A composição química dos resíduos sólidos urbanos (RSU), ou lixo como era denominado até a década de 90 (FRITSCH, 2000), está relacionada principalmente aos componentes orgânicos existentes, englobando a quantificação de parâmetros como carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio e enxofre, que compõem o elenco básico de macro e micronutrientes, a relação C/N, o pH e as concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis (BIDONE; POVINELLI, 1999).

A composição física apresenta as porcentagens de várias frações dos seus materiais constituintes. Os resíduos de varrição, de feiras livres, de capinação e poda constituem-se basicamente de matéria orgânica. Resíduos comerciais vão depender do tipo de estabelecimento, por exemplo, no caso de restaurantes predominam resíduos de cozinha, enquanto que no caso de escritórios o principal resíduo é o papel. Nos resíduos residenciais, essas frações normalmente distribuem-se em matéria orgânica, papel (jornais e revistas), papelão, trapos, couro, plástico duro, plástico mole, metais ferrosos, metais não-ferrosos, vidro, borracha, madeira e outros, sendo a matéria orgânica responsável por cerca de 50% desse volume (D'ALMEIDA et. al, 2000).

A fração de cada material presente, bem como as quantidades geradas, vem se modificando ao longo dos anos devido a diversos fatores. Segundo Lima (1995), os dois principais fatores que regem a origem e produção de resíduos são: o aumento populacional e a intensidade da industrialização. De forma menos abrangente, são citados por Bidone e Povinelli (1999) fatores culturais, nível e hábito de consumo, rendas e padrões de vida das populações, fatores climáticos e características de sexo e idade dos grupos populacionais. A **Tabela 01** apresenta uma comparação da composição média dos resíduos americanos e brasileiros no início da década de 70¹, evidenciando o reflexo da industrialização na geração dos mesmos.

Tabela 01 – Comparação da composição média dos resíduos residenciais americano e brasileiro.

Materiais	Composição média	
	Americano (1971)	Brasileiro (1973)
Papel	55,0%	25,0%
Metais	9,0%	4,0%
Plásticos	1,0%	3,0%
Vidro	9,0%	3,0%
Madeira	4,0%	2,0%
Matéria orgânica	19,0%	47,5%
Outros (trapo, couro, borracha)	3,0%	15,5%

Fonte: adaptado de Pinto, 1979.

No geral, a quantidade de papel e produtos afins (materiais recicláveis) tende a aumentar com o crescimento da economia e elevação do padrão de vida das populações, enquanto que a matéria orgânica tende a diminuir. Isto se deve a disponibilização dos alimentos já praticamente prontos para o consumo, com conseqüente utilização de um maior número de embalagens (PINTO, 1979). O aumento de materiais recicláveis esta associado também à cultura dos produtos descartáveis, que vem se destacando como fenômeno de consumo em muitas sociedades desde o Século XX (FLECK, 2003). O plástico é, dentre todos os materiais, o único que, embora tendo seu ingresso registrado no

¹A escolha pela apresentação de dados da década de 70 vai ao encontro dos objetivos propostos por este trabalho de caracterizar a área de estudo, cujo aterramento com resíduos sólidos urbanos teve início no ano de 1977.

fluxo de resíduos somente a partir de 1969, cresceu em participação continuamente (CALDERONI, 1998).

Quando do planejamento do sistema de manejo de RSU, é necessária a caracterização dos resíduos de acordo com suas propriedades físicas e químicas. Estas são de grande importância para análise, concepção e dimensionamento dos elementos constituintes do sistema, determinando a eficiência da coleta e destinação final, assim como dos equipamentos envolvidos.

Em Lima (1995) são descritos os três fatores principais para a caracterização:

- Teor de umidade: representa a quantidade de água contida na massa de resíduos. Esta variável depende diretamente das condições climáticas, variando sensivelmente de um lugar para outro. É muito importante quando da escolha do sistema de disposição e tratamento, pois possui influência notável sobre o poder calorífico dos resíduos, assim como na velocidade de decomposição dos materiais biodegradáveis;
- Peso específico: representa a relação entre o peso e o volume (kgf/m^3). Este é influenciado pelos hábitos e costumes da população, bem como pelo avanço da tecnologia. O conhecimento deste parâmetro determina a capacidade volumétrica dos meios de coleta, tratamento e destino final;
- Teor de matéria orgânica: representa a quantidade, em peso seco, de matéria orgânica contida na massa de resíduos. Assim como o teor de umidade, é muito importante quando da escolha do sistema de disposição e tratamento.

3.2. A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO SOLO

Aterrar resíduos como forma de destino final não é uma prática de privilégio da civilização moderna, pois também os antigos já faziam uso dela. A sua relativa simplicidade, baixo custo frente a outros métodos e o desconhecimento acerca dos problemas ambientais relacionados, fizeram com que esta técnica fosse amplamente difundida em todo mundo (FLECK, 2003; LIMA, 1995).

De acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (CETESB/GTZ) (2001),

quando analisados os estudos referentes à poluição ambiental fica evidente que inicialmente os esforços de controle da poluição eram concentrados quase que unicamente nos recursos hídricos. Em seguida estes passaram a ser focados também na qualidade do ar atmosférico, para somente mais tarde considerar o solo como área-problema.

Por muitos anos, esta inexistência de pesquisas ligadas à disposição de resíduos no solo e seus respectivos efeitos, contribuíram para que aterramentos de áreas com resíduos sólidos fossem considerados como boa alternativa para a problemática da disposição e a recuperação topográfica de locais como depressões, voçorocas, banhados e zonas de várzea. Uma vez que apenas o custo da terra era considerado, ignorando a existência ou não de condições técnicas para esta finalidade. Tal fato fica constatado em Pinto (1979), quando este menciona que os resíduos poderiam ser dispostos, sem maiores cuidados, em áreas onde não houvesse restrições da comunidade, ou que poderiam ser utilizados para a recuperação de áreas devolutas, ou seja, propriedades públicas sem uso, com o processo de aterro de resíduos.

Com o crescimento populacional e a ampliação da produção industrial, a geração de resíduos sofreu grande aumento, elevando também o número de áreas utilizadas para a disposição dos mesmos, visto que este foi o procedimento adotado pela ampla maioria das municipalidades dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, caso do Brasil (FLECK, 2003). Como exemplo tem-se o caso de São Paulo, que no ano de 1992 possuía apenas sete aterros sanitários e 487 lixões (CALDERONI, 1998) e aproximadamente 10 anos mais tarde contava com a existência de pelo menos 2000 sítios que foram ou estariam sendo utilizados para disposição de resíduos (ELIS; ZUQUETTE, 2002).

3.2.1. Classificação dos Aterros de Resíduos

As nomenclaturas utilizadas para caracterizar a disposição de resíduos no solo na década de 70 surgiram juntamente com as primeiras preocupações em relação à contaminação gerada por esta prática. Os aterros podiam ser classificados conforme a técnica de operação ou pela forma de disposição. Segundo a técnica de operação, eram classificados em (GERALDO, 1981 apud LIMA, 1995):

- Aterros de superfície: aqueles executados em regiões planas;

- Aterros de depressões: aqueles executados em locais específicos, como lagoas e mangues, depressões e ondulações, pedreiras extintas, entre outros.

Quanto à forma de disposição final (LUZ, 1981 apud LIMA, 1995), eram classificados em:

- Aterros comuns ou lixões: caracterizados pela simples descarga de resíduos sem qualquer tratamento, sendo o método de disposição mais prejudicial ao homem e ao meio ambiente;
- Aterros controlados: uma variável da prática anterior em que o resíduo recebia uma cobertura diária de material inerte. Esta cobertura diária, entretanto, era realizada de forma aleatória, não resolvendo satisfatoriamente os problemas de poluição gerados pelo resíduo, uma vez que os mecanismos de formação de líquidos e gases não eram levados a termo;
- Aterros sanitários: eram aqueles executados segundo os critérios e normas de engenharia e atendendo os padrões de segurança preestabelecidos.

Com a evolução da técnica e o surgimento de procedimentos mais específicos e rigorosos para a sua aplicação, os aterros passaram a ser classificados basicamente quanto à forma de disposição final, utilizando-se das mesmas nomenclaturas, porém, nos casos de aterros controlados e aterros sanitários, com conceitos associados um pouco modificados.

Em Jardim et al. (1995) apud Calderoni (1998) é possível perceber essa evolução de conceitos no momento que aterros controlados são apresentados como semelhantes a aterros sanitários, diferentemente do exposto anteriormente. Tal afirmação se dá basicamente pela evolução dos procedimentos de engenharia utilizados para a execução do mesmo, considerando que as questões ambientais destes continuam deixando a desejar.

Para Bidone e Povinelli (1999), aterros controlados são aqueles onde se adotam precauções tecnológicas executivas durante o desenvolvimento do aterro, como o recobrimento dos resíduos com argila, aumentando a segurança do local e minimizando os riscos de impactos ao meio ambiente e a saúde pública. É uma solução compatível para pequenos municípios, porém, no geral, não substitui o aterro sanitário, que nos termos atuais tem por princípio proporcionar o total confinamento dos resíduos.

O lançamento a céu aberto, denominado aterro comum ou lixão, manteve a mesma conceituação ao longo dos anos, havendo mudanças apenas em sua aceitação na medida em que eram aprofundados os estudos referentes aos impactos gerados ao meio ambiente, apesar da técnica sempre ter sido conhecida, sob todos os aspectos, como a pior forma de disposição de resíduos sólidos. Ainda assim, os lixões foram e ainda são amplamente utilizados no Brasil, conforme apresentado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE em 2010, destacando-se como a principal solução para a disposição de resíduos. No ano de 1989 os lixões representavam quase 90% do destino final dos resíduos das comunidades brasileiras, passando a valores em torno de 70% no ano 2000 e 50% em 2008. Isto se traduz, conforme dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012), na existência de 2.906 lixões distribuídos em 2.810 municípios.

À exceção dos aterros sanitários, as técnicas de disposição de RSU no solo são inconstitucionais conforme Art. 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, que garante que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado [...]”, assim como são ilegais, pois vão de encontro aos objetivos propostos pela Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que visa, entre outras coisas, manter assegurado e protegido o meio ambiente, tendo em vista o uso coletivo (Art. 2).

Nesta ótica, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, definiu em seu Art. 3, inciso VIII, que a disposição final ambientalmente adequada deve ser realizada pela “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”, e determinou em seu Art. 54 a implantação até o ano vigente deste tipo de disposição. Cabe ressaltar que, segundo a referida Lei, somente rejeitos podem ser dispostos em aterros e estes se caracterizam por resíduos sólidos que não puderam ser tratados ou recuperados por processos tecnológicos existentes e economicamente viáveis.

Para que a disposição final seja considerada ambientalmente adequada, o aterro de resíduos deve prever a existência de alguns sistemas, sendo os principais a impermeabilização da base do aterro; instalação de drenos de gás; sistema de coleta e tratamento de chorume; e sistema de drenagem de águas pluviais. Além disso, o aterro deve contar com unidades de apoio, como acessos internos que permitam a interligação

entre os diversos pontos do aterro, portaria para controlar a entrada e saída de pessoas e caminhões de resíduos e isolamento da área para manutenção da ordem e do bom andamento das obras (CETESB, 2014).

A NBR 8.419/1992 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos da ABNT dá as diretrizes para a construção de aterros sanitários de RSU e define a técnica como:

Técnica 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 permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

A utilização dos aterros sanitários conforme preconiza a NBR 8.419/1992 pode ser dispensada somente em situações específicas, onde são utilizados os aterros sanitários de pequeno porte, que tem suas diretrizes especificadas pela NBR 15.849/2010 – Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento, que os define como:

Aterro sanitário para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, até 20 t por dia ou menos, quando definido por legislação local, em que, considerados os condicionantes físicos locais, a concepção do sistema pode ser simplificada, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

A disposição de resíduos em aterros sanitários, mesmo com todos os cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, não evita a formação de produtos como gases (CO_2 , H_2S e CH_4) e chorume, que apresentam elevado potencial poluidor devido à presença de uma série de compostos naturais e sintéticos dissolvidos e dispersos (BIDONE; POVINELLI, 1999; FLECK, 2003). Ainda assim, a utilização da técnica se justifica, pois se apresenta atualmente como o método mais simples de destinação final de RSU (CETESB, 2014).

3.2.2. Breve Histórico da Disposição no Município de Porto Alegre

Os registros mais antigos referentes à disposição de resíduos sólidos na cidade de Porto Alegre foram realizados no ano de 1820 pelo botânico francês Auguste de Saint Hilaire, que descreveu a cidade como de extrema sujeira devido às grandes quantidades de “lixo” entulhadas em encruzilhadas, terrenos baldios e principalmente as margens do Rio Guaíba (COSTA, 1983).

Nesta época a limpeza das ruas e das casas era de atribuição dos proprietários. Somente em 1898 que os serviços de coleta e remoção dos resíduos domiciliares, bem como a varredura das calhas das principais ruas da cidade, passaram a ocorrer pela municipalidade (COSTA, 1983).

Por muitos anos a totalidade dos resíduos domiciliares e os detritos das varreduras foram inteiramente depositados no litoral norte das praias do Guaíba, que foi conseqüentemente aterrado, passando o resíduo a ser aproveitado para o aterro do Campo da Redenção. Na seqüência a área de disposição utilizada foi à margem do Riacho, nas proximidades da Ponte de Pedra, no prolongamento da Rua Cel. Genuíno, onde os resíduos foram acumulados até passarem a ser incinerados (COSTA, 1983).

Em 1925, já pela falta de capacidade do forno utilizado para a incineração, foi realizada a primeira tentativa de aproveitamento dos resíduos como adubo. Nesta mesma época, não sendo suficiente a destinação existente, parte dos resíduos coletados tiveram que ser depositados na área da Rua São Manoel e em terrenos particulares, desde que o proprietário assumisse o compromisso de cobrir o depósito com uma camada de terra (COSTA, 1983).

No final da década de 30 os resíduos coletados em Porto Alegre possuíam três destinos: a incineração, extremamente precária, o processo para aproveitamento como adubo (células Beccari) e o aterramento de diversos locais, como o prolongamento da Av. João Pessoa, Praça de Navegantes, Rua 18 de Novembro, Av. Italiana, Rua Dona Teodora, Av. Madri, Av. França, Praça Garibaldi, Rua Dona Margarida e Rua Augusto Severo, além de banhados que circundavam a Azenha (COSTA, 1983).

Em 1947 teve início o abandono da atividade de aproveitamento dos resíduos em razão da necessidade de aterro de uma grande área existente no Partenon. Posteriormente,

nas décadas de 50 e 60, surgiram novas propostas com o intuito de retomar a atividade no município, porém nenhuma obteve sucesso (COSTA, 1983).

Na segunda metade da década de 60, Porto Alegre estava dividida em duas zonas de coleta, separadas pela Av. Ipiranga, cada uma delas possuindo uma área utilizada para a disposição dos resíduos. Uma das áreas era localizada na Rua Atílio Superti, na Vila Nova, e a outra na Av. Protásio Alves, cujos proprietários recolhiam os resíduos ali depositados, destinando-os para aterros e para a alimentação de porcos. Dentre as áreas aterradas nesta época, mais precisamente no ano de 1969, cabe destacar o cruzamento da Av. Ipiranga com a Rua Veador Porto (7.800 m²), a antiga Ilhota (14.000 m²) e uma área situada junto ao Aeroporto Salgado Filho (150.000 m²) (COSTA, 1983).

Somente a partir de 1976 os aterros com resíduos sólidos passaram a ser executados utilizando princípios de engenharia, que qualificaram a técnica como um método de disposição de resíduos sólidos no solo, denominado a época de aterro sanitário, na qual se controlava tanto a forma de deposição dos resíduos, quanto à contaminação gerada pelos mesmos (COSTA, 1983).

O primeiro aterro a utilizar a nova técnica, denominado Aterro Benópolis, teve o início da sua operação já no ano de 1977 (COSTA, 1983). Após este, outros aterros foram criados na cidade de Porto Alegre e redondezas, destacando-se como principais o Aterro Zona Norte (1985), situado na Av. Sertório; Aterro Três Meninas (1992), situado na estrada de mesmo nome, no bairro Vila Nova; Aterro da Extrema (1997), situado na Estrada do Espigão, no bairro Lami; e Aterro Santa Tecla (2000), situado no município de Gravataí e viabilizado por meio de convênio metropolitano (FRITSCH, 2000; PORTO ALEGRE, 2013).

Atualmente o local de destino final dos resíduos não reaproveitados ou não reciclados no município de Porto Alegre é o Aterro Sanitário da Central de Resíduos do Recreio – ASCRR –, localizado no município de Minas do Leão. O ASCRR passou a ser utilizado como destino final em 2002, ano de encerramento da operação do Aterro da Extrema. Concomitantemente com a destinação ao ASCRR, até 2005, o município também operou e dispôs resíduos no Aterro Santa Tecla (PORTO ALEGRE, 2013).

3.3. GERAÇÃO DE PRODUTOS EM ATERROS DE RESÍDUOS

Os RSU ao serem depositados em aterros permanecem descobertos por um período de tempo até serem compactados e cobertos. Já nesta fase, e independente da composição dos mesmos, as populações de microrganismos existentes no meio passam a multiplicar-se e compostos voláteis começam a ser emitidos (ENSINAS, 2003; BIDONE; POVINELLI, 1999).

Os microrganismos, que podem ser saprófitos (a maioria dos fungos, algumas bactérias e plantas) ou decompositores, transformam a matéria orgânica em massa parcial ou totalmente bioestabilizada através de seus processos de nutrição e respiração (BIDONE; POVINELLI, 1999). Esta transformação, porém, está associada à geração de produtos com elevado potencial poluidor, como os gases de aterro, composto pelo biogás gerado no processo anaeróbio e por compostos voláteis, e o lixiviado. As taxas e características da produção de gases e lixiviado variam ao longo do processo de decomposição da matéria orgânica e refletem o estágio de degradação no qual o aterro se encontra (GOMES, 2009).

A decomposição da fração orgânica dos resíduos pode ocorrer por dois processos: aeróbio ou anaeróbio. A decomposição aeróbia é muito mais rápida, resultando em subprodutos como CO₂, sais minerais de nitrogênio, fósforo, potássio e outros micro e macronutrientes solúveis em água, além de alguns compostos orgânicos de mais lenta biodegradabilidade, geralmente de natureza fibrosa ou coloidal (BIDONE; POVINELLI, 1999).

A decomposição anaeróbia é mais lenta, gerando subprodutos em estágios intermediários de degradação e gases. Esta pode ser dividida, de uma forma geral, em duas fases distintas: fase ácida e fase metanogênica. Na primeira fase a matéria orgânica complexa é hidrolisada a compostos solúveis menores por enzimas extracelulares. Os produtos da hidrólise, que aumentam a disponibilidade energética do meio, incluem ácidos graxos, açúcares simples, aminoácidos e outros compostos orgânicos de baixo peso molecular (BIDONE; POVINELLI, 1999; LIMA, 1995).

Atividades adicionais nesta fase complementam as modificações da matéria orgânica, como a captura de energia, a formação de ácidos orgânicos, a produção de amônia, água e de gases como o H₂ e o CO₂ (LIMA, 1995).

Na fase metanogênica, principal responsável pela geração de biogás, os microrganismos obtêm energia através de duas reações principais: redução do CO_2 pela adição de H_2 , formando CH_4 e H_2O ; e quebra do CH_3COOH (ácido acético), formando CH_4 e CO_2 . Outros gases são também produzidos nesta fase como, por exemplo, o N_2 produzido a partir do processo microbiano de desnitrificação, no qual o íon nitrato é reduzido ao mesmo tempo que atua como aceptor de elétrons, e o H_2S produzido por microrganismos redutores de sulfato com o íon sulfeto agindo como aceptor de elétrons (LIMA, 1995).

Cabe destacar que em aterros de resíduos o modelo de decomposição da matéria orgânica contempla processos aeróbios e anaeróbios, como também uma fase de transição e uma de maturação. Desta forma, este é dividido em cinco fases: fase de adaptação (aeróbia), fase de transição, fase anaeróbia ácida, fase anaeróbia metanogênica e fase de maturação, que serão descritas ao final deste tópico. Cada uma destas fases geram produtos (gases e lixiviados) de composições características, que também serão apresentados e descritos na sequência.

3.3.1. Geração de Biogás

A geração de biogás em um aterro sanitário é iniciada algumas semanas após o início do depósito dos resíduos e continua por 15 a 20 anos após seu encerramento, conforme sugerido por Johannessen (1999), ou até mesmo até 30 a 50 anos, conforme Terreza e Willumsen (2009). A geração varia consideravelmente de um local para outro, dependendo da situação de cada país e de cada aterro. Os parâmetros que regem o fluxo de produção são (TERREZA; WILLUMSEN, 2009):

1. Temperatura no aterro: Em geral o aumento da temperatura acelera a atividade microbiana. O ponto ótimo fica em 35°C , que é a temperatura encontrada em aterros profundos. Em aterros menos profundos (10-15 metros de profundidade) a temperatura fica em torno dos 20°C ;
2. Umidade dos resíduos: A umidade adequada, que significa ter água suficiente para cobrir as partículas orgânicas, acelera a atividade microbiana;
3. Composição dos resíduos: Quanto maior a quantidade de matéria orgânica e quanto mais rápida for a decomposição desta, maior é o fluxo de produção de biogás;

4. Idade dos resíduos: Relacionado à utilização da matéria orgânica pelos microrganismos ao longo do tempo. Quanto maior a idade dos resíduos, menor a quantidade de matéria orgânica disponível;
5. Estrutura dos resíduos: Quanto menores as partículas dos resíduos, maior a superfície específica, o que facilita o acesso dos microrganismos;
6. Cobertura do aterro: O material de cobertura deve possuir características que mantenha as condições adequadas de umidade dos resíduos, através da infiltração de parte das águas pluviais.

O biogás de aterros é composto de vários gases, principalmente CH₄ e CO₂, que, juntos, constituem aproximadamente 99% de seu total. Os outros componentes aparecem em menores quantidades, conforme apresentado na **Tabela 02**. Dos gases relacionados na tabela, merece destaque o CH₄, que apesar de não ser tóxico, é um gás asfíxiante, devido à capacidade de deslocamento do oxigênio do ar, principalmente em locais confinados, e inflamável quando em concentrações no ar de 5 a 15% (50.000 a 150.000 ppm) (MUNHOZ, 2014).

Tabela 02 – Distribuição percentual típica dos gases de aterros de RSU.

Componente	Porcentagem*
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrogênio	2,0 – 5,0
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

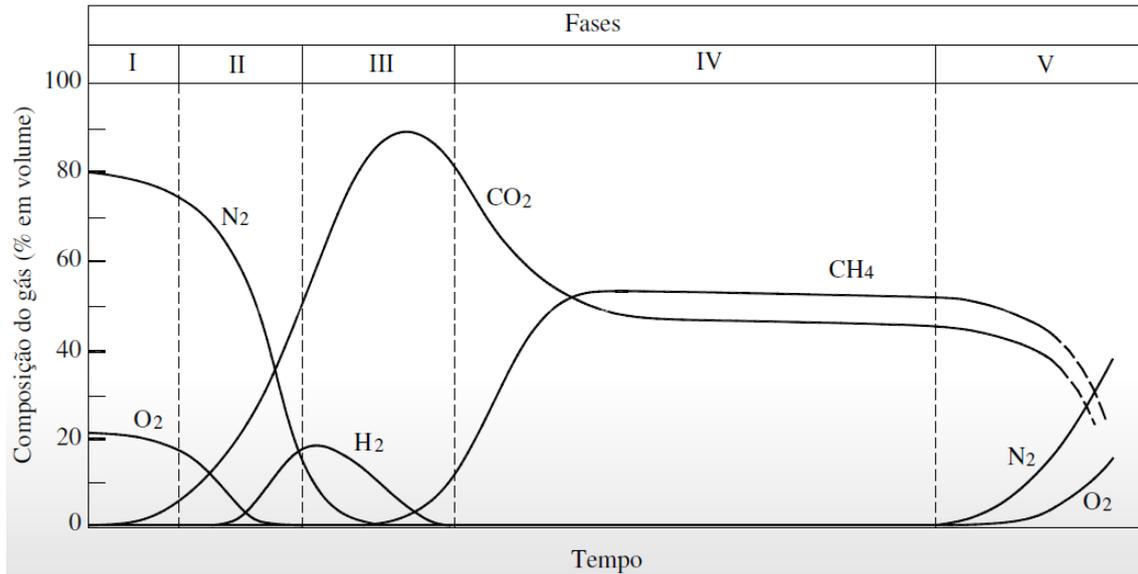
*A distribuição percentual exata variará segundo o tempo de uso do aterro.

Fonte: Tchobanoglous et al., 1994 apud Segala, 2007.

A distribuição apresentada na Tabela 02 é característica da fase metanogênica do processo anaeróbio, onde a geração de biogás se encontra mais acentuada. A distribuição percentual em um aterro ao longo do tempo, que é dividido em cinco fases (adaptação,

transição, ácida, metanogênica, maturação) descritas ao final deste capítulo, é apresentada na **Figura 01**.

Figura 01 – Distribuição percentual de gases em aterros de resíduos.



Fonte: Tchobanoglous et al., 1993 apud Ensinas, 2003.

3.3.1. Geração de Lixiviado

O lixiviado de aterros é, em geral, resultado da interação entre o chorume e as águas precipitadas sobre o mesmo, que atravessam a massa de resíduos dissolvendo compostos solúveis e arrastando particulados. O chorume é definido por Luz (1983) apud Lima (1995) como o líquido advindo de três fontes: (1) umidade natural dos resíduos sólidos; (2) água de constituição dos vários materiais, que sobra durante a decomposição; (3) líquido excedente do processo de dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias, que o fazem para posterior absorção em suas membranas.

Desta forma, a vazão de lixiviado está diretamente relacionada ao volume de águas pluviais infiltradas, enquanto que as características físicas, químicas e biológicas às características do chorume gerado, que por sua vez depende da composição dos resíduos aterrados (GOMES, 2009).

O impacto produzido pelo lixiviado sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com sua fase de decomposição. O lixiviado de aterro novo é caracterizado por pH ácido, alta DBO, alta DQO e diversos compostos potencialmente tóxicos. Com o passar dos anos há uma redução significativa da biodegradabilidade devido à conversão de parte dos componentes biodegradáveis em CH₄ e CO₂ (REINHART; GROSH, 1998 apud GOMES, 2009). A **Tabela 03** apresenta concentrações típicas de compostos presentes no lixiviado e a **Figura 02** a variação dos principais parâmetros ao longo do tempo, dividido nas mesmas cinco fases mencionadas acima e que estão descritas na sequência.

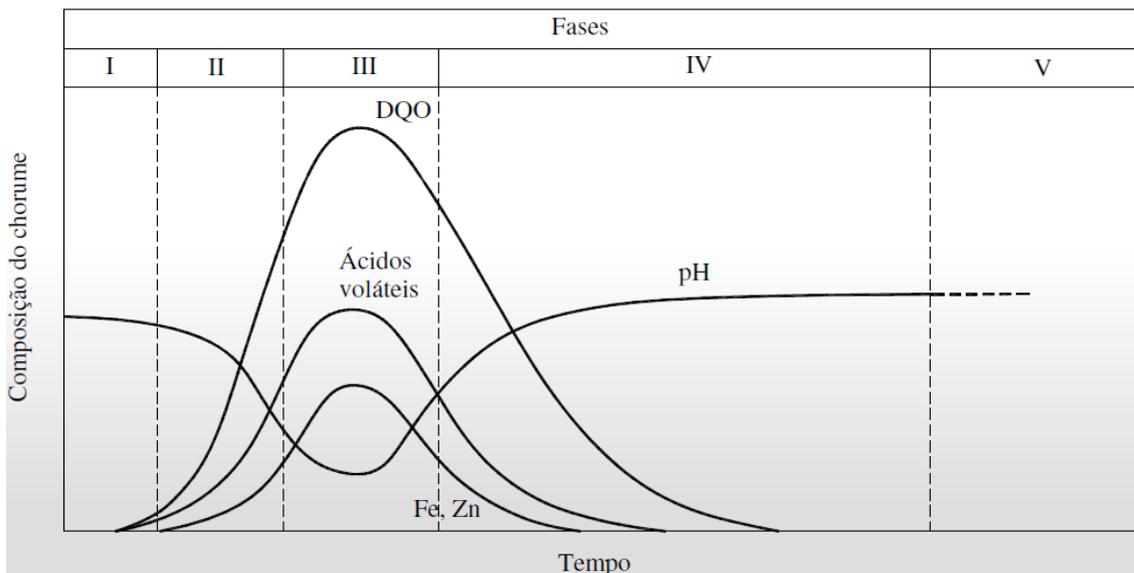
Tabela 03 – Concentrações típicas de compostos presentes no lixiviado de aterros novos e consolidados.

Parâmetros (mg/L*)	Aterro novo (menos de 2 anos)		Aterro consolidado (mais de 10 anos)
	Variação	Valor típico	Variação
Alcalinidade	1.000 – 10.000	3.000	200 – 1.000
Amônia	10 – 800	200	20 – 40
Cádmio	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Chumbo	0,5	0,5	1
Cloreto	200 – 3.000	500	100 – 400
Cobre	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Condutividade	600 – 9.000	-	-
Cromo total	0,02 – 1,5	-	0,02 – 1,5
DBO	2.000 – 30.000	10.000	100 – 200
DQO	3.000 – 60.000	18.000	100 – 500
Ferro total	50 – 1.200	60	20 – 200
Manganês	75 – 125	-	0,06
Merúrio	0,00005 – 0,16	0,00005 – 0,16	0,00005 – 0,16
Nitrato	5 – 40	25	5 – 10
pH	4,5 – 7,5	6	6,6 – 7,5
Potássio	200 – 1.000	3.000	50 – 400
Sódio	200 – 2.500	500	100 – 200
Sólidos totais	10.000 – 14.000	6.794	1.200
Sulfato	50 – 1.000	300	20 – 50

*Todos os valores em mg/L, exceto condutividade que é expressa em µS/cm e o pH que não tem unidade.

Fonte: Tchobanoglous et al., 1993 apud Santos, 2004.

Figura 02 – Variação das características do lixiviado de aterro de resíduos.



Fonte: Tchobanoglous et al., 1993 apud Ensinas, 2003.

As cinco fases do modelo de decomposição do material orgânico nos aterros de resíduos, apresentadas nas Figuras 01 e 02, são descritas conforme segue (BIDONE; POVINELLI, 1999; ENSINAS, 2003; TERREZA; WILLUMSEN, 2009; TOLAYMAT et al., 2004):

- Fase I – Adaptação: decomposição inicial da matéria orgânica em condições aeróbias, devido à presença de certa quantidade de ar no interior do aterro. Possui duração estimada de poucos dias a poucas semanas;
- Fase II – Transição: transição da fase aeróbia para a anaeróbia. Nitratos e sulfatos são utilizados como aceptores de elétrons, ao invés do oxigênio. São estabelecidas condições óxido-redutivas, com início da conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Inicia a formação do chorume e seu pH começa a cair devido à presença dos ácidos e pelas elevadas concentrações de CO₂. Possui duração estimada de 1 mês a 1 ano;
- Fase III – Ácida: hidrólise dos compostos de maior massa molecular, gerando compostos intermediários que são convertidos em ácido acético e outros ácidos mais complexos. Há liberação de nitrogênio e fósforo. O CO₂ é o principal gás gerado. Decréscimo do pH do lixiviado devido a maior dissolução de ácidos,

aumentando a DBO, DQO e a solubilização dos metais. Possui duração estimada de poucos meses a 2 anos;

- Fase IV – Metanogênica: predomínio dos organismos denominados metanogênicos que convertem os ácidos gerados na etapa anterior em CH₄ e CO₂. Devido à conversão dos ácidos o pH retorna a neutralidade, ocorrendo a precipitação dos metais e drástica redução de DQO no lixiviado. Possui duração estimada de 10 a 50 anos;
- Fase V – Maturação: Relativa inatividade dos microrganismos devido à escassez de nutrientes. Predominância de condições ambientais naturais. Surgimento de O₂ e espécies oxidativas. Conversão lenta dos materiais orgânicos resistentes aos microrganismos.

3.4. GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Passivos ambientais são definidos pela ABNT NBR 15515-1/2007, denominada *Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar*, como “danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto das ações humanas, que podem ou não ser avaliados economicamente”.

Para Galdino et al. (2002), o termo se refere a obrigações adquiridas em decorrência de transações anteriores ou presentes, que provocou ou provoca danos ao meio ambiente ou a terceiros de forma voluntária ou involuntária, os quais deverão ser indenizados através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços em um momento futuro.

Neste contexto, diversas áreas contaminadas têm sido comumente chamadas de passivos ambientais, devido justamente ao fato de representarem obrigações (ou custos) para com terceiros, pois os efeitos da contaminação recaem basicamente sobre segmentos da sociedade que não os geraram (SILVA, 2007).

Os passivos ambientais e as abordagens para a gestão dos problemas relacionados têm sido objeto de muita discussão em todo mundo, pois todos os países, de uma forma ou outra, herdaram um legado de contaminação, geralmente relacionados a usos anteriores da terra pelo homem.

O surgimento das áreas contaminadas esteve condicionado a alguns fatores principais, podendo-se destacar o desconhecimento aos reais danos das atividades humanas sobre o meio ambiente, a falta de procedimentos seguros para o manejo de substâncias perigosas e a ocorrência de acidentes durante o desenvolvimento dos processos produtivos, de transporte ou de armazenamento de matérias primas e produtos, sem que se tomassem as providências necessárias (SILVA, 2007).

Somente na década de 80, diante da ocorrência de grandes acidentes ambientais, que os primeiros estudos relacionados ao tema passaram a ser desenvolvidos em países industrializados e no Brasil. Antes disso, as dimensões quantitativas e financeiras desses problemas eram totalmente subestimadas, o que resultou nas inúmeras áreas contaminadas existentes atualmente em todo mundo (SCHIANETZ, 1999 apud AREND; OLIVEIRA; ÁVILA, 2011; CETESB/GTZ, 2001).

Em uma área contaminada, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, como no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções (MMA, 2014).

Quando a contaminação é proveniente de novas atividades o gerenciamento ambiental é realizado de forma mais simples, pois a caracterização da contaminação é facilitada pela disponibilidade de informações sobre a mesma. No caso de atividades que ocorreram há muitos anos, pode-se não conseguir reconhecer os reais impactos causados ao meio ambiente, resultando em quadros complexos e generalizados de contaminação do solo e águas subterrâneas (VEGTER; LOWE; KASAMAS, 2002).

A principal tendência no desenvolvimento de políticas é abordar a questão das áreas contaminadas sobre dois aspectos simultaneamente. O primeiro aspecto é o da proteção, ou seja, quanto ao impacto da contaminação sobre a saúde humana e a qualidade do meio ambiente. O outro aspecto é do planejamento de ocupação do território, onde se objetiva gerir o impacto da área contaminada de acordo com seu uso pretendido (VEGTER; LOWE; KASAMAS, 2002).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, estabelece as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, proporcionando as bases

necessárias à tomada de decisão quanto às formas mais adequadas para promover a reabilitação das áreas. Este processo deve respeitar princípios básicos, conforme Art. 21 da referida resolução, cabendo destacar aqui a geração e disponibilização de informações e a racionalidade e otimização das ações e custos.

A Resolução CONAMA nº 420/2009, ao encontro das tendências das políticas relacionadas ao gerenciamento das áreas contaminadas, visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, evitando danos ao bem estar público e possibilitando o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo. Estes objetivos são alcançados através de etapas sequenciais, em que a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior.

Inicialmente deve ser realizada a identificação e caracterização da contaminação, que segundo a ABNT NBR 15515-1/2007, é realizada em três etapas: avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada. A avaliação preliminar objetiva encontrar indícios de uma possível contaminação, realizada com base nas informações disponíveis, como levantamento histórico, entrevistas, imagens e fotos, e inspeções de campo, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área.

A investigação confirmatória é a etapa em que são realizados estudos e investigações com o intuito de comprovar a existência da contaminação de uma área potencialmente contaminada e a investigação detalhada onde são caracterizados, qualitativa e quantitativamente, a fonte de contaminação, o meio físico e a contaminação.

A etapa seguinte é a execução de uma avaliação de risco, que conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009, é o processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido.

Através da identificação do risco são avaliadas as possibilidades de intervenção para reabilitação das áreas contaminadas que poderão contemplar, de forma não excludente (Art. 34, Parágrafo Único):

I - a eliminação de perigo ou redução a níveis toleráveis dos riscos à segurança pública, à saúde humana e ao meio ambiente;

II - o zoneamento e restrição dos usos e ocupação do solo e das águas superficiais e subterrâneas;

III - a aplicação de técnicas de remediação; e

IV - o monitoramento.

Após a eliminação dos riscos ou a sua redução a níveis toleráveis, a área será declarada, pelo órgão ambiental competente, como área reabilitada para o uso declarado, conforme Art. 36 da referida resolução, fechando assim o processo de gerenciamento ambiental.

3.5. AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA

Nos termos da Resolução CONAMA nº 420/2009, risco é a probabilidade de ocorrência de efeito(s) adverso(s) em receptores expostos a contaminantes, sendo a avaliação de risco o processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido.

Em CETESB/GTZ (2001) é destacado que o objetivo principal da avaliação de risco é a identificação e quantificação dos riscos a saúde humana, uma vez que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens a proteger. Esta metodologia constitui um procedimento tecnicamente defensável e conceitualmente sustentável para a determinação dos seguintes aspectos:

- Proteção à saúde humana;
- Determinação do nível de remediação ambiental necessário;
- Estabelecimento de metas de remediação;
- Avaliação da viabilidade técnica da remediação;
- Determinação dos benefícios associados ao processo de remediação;
- Priorização de áreas contaminadas;
- Priorização de alocação de recursos;
- Gerenciamento ambiental integrado.

Segundo a U. S. Environmental Protection Agency – USEPA (1989), cada local terá uma avaliação de risco específica, pois esta depende da complexidade e circunstâncias

particulares do local, bem como de orientações, critérios e requisitos aplicáveis e/ou relevantes. Porém, há quatro etapas básicas no processo:

1. Coleta e análise de dados;
2. Avaliação da exposição;
3. Avaliação de toxicidade;
4. Caracterização do risco.

A primeira etapa envolve a obtenção e análise de informações relevantes sobre o local, identificando principalmente a complexidade do meio físico, particularidades da fonte primária de contaminação, diversidade de contaminantes e variações dos níveis de contaminação na área. A coleta e avaliação de dados inicia na avaliação preliminar e geralmente se estende na investigação confirmatória e na investigação detalhada. Muitos dos dados podem ser levantados apenas em estudos preliminares e tratados com foco na quantificação do risco à saúde humana. Este estudo, quando bem conduzido, pode reduzir a alocação de recurso, o tempo de investigação e o levantamento de dados (CETESB/GTZ, 2001).

A segunda etapa, avaliação da exposição, tem por objetivo estimar a magnitude, frequência e duração da exposição humana aos contaminantes identificados na etapa anterior, assim como as vias pelas quais ocorre esta exposição. Nesta etapa devem ser criados cenários de exposição de acordo com os usos atuais e futuros do solo, onde são identificadas as várias possibilidades de um contaminante atingir as populações potencialmente receptoras a partir de sua origem (USEPA, 1989).

A avaliação de toxicidade, terceira etapa da avaliação de risco, é realizada considerando: (a) os tipos de efeitos adversos à saúde associados com a exposição a produtos químicos; (b) a relação entre a magnitude da exposição e seus efeitos adversos; e (c) incertezas relacionadas, como o grau de carcinogenicidade de um determinado produto químico em humanos. Ou seja, nesta etapa se identifica o perigo existente no local avaliado (USEPA, 1989).

A quarta e última etapa, caracterização do risco, combina e resume os cenários de exposição com a avaliação de toxicidade, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa, determinando os níveis de risco atuais e futuros. Em outras palavras, para que seja configurado o risco é necessário que exista algo ou alguém para sofrer o dano inerente a

um perigo, e ainda que exista uma via de contato entre ambos. A partir desta concepção de risco, como um tripé (**Figura 03**), se um de seus componentes for eliminado, o risco em si será nulo. Se a substância perigosa for completamente neutralizada ou retirada, se não houver nenhuma via de exposição ou não existir nenhum receptor para sofrer dano apesar dos perigos presentes, não existe risco (VIANA, 2010).

Figura 03 – Diagrama de caracterização do risco.



Fonte: adaptado de Viana, 2010.

Em geral, a inexistência total de um desses componentes é bastante rara, logo a ausência de risco é improvável. Desta forma, a identificação e quantificação do mesmo são necessárias para a criação de procedimentos e ações que o eliminem ou reduzam a níveis toleráveis, de modo que a área possa ser utilizada observando o planejamento de uso e ocupação do solo.

3.5.1. Riscos Inerentes a Aterros de Resíduos

Os gases produzidos em aterros de resíduos, quando combinados com oxigênio em certas proporções, podem formar uma mistura explosiva. A explosão é uma combinação de três elementos básicos: combustível, oxigênio e calor. O metano é o constituindo dos gases

de aterros que causa o maior perigo de explosão, sendo explosivo em concentrações de 5% a 15% em volume no ar. Além desta concentração e da mistura com oxigênio, é necessária uma condição de ignição, ou seja, que haja temperatura suficiente para o gás inflamar. No caso do metano, a temperatura de auto-ignição é de 580°C no ar e 555°C em oxigênio puro (FILHO, 2005).

As concentrações de metano dentro do aterro são tipicamente mais altas que 15%, tornando improvável a explosão do metano dentro dos limites do aterro. Além disso, o oxigênio é uma componente chave para iniciar uma explosão e, em geral, o ambiente do aterro é ausente de oxigênio. À superfície do aterro, o oxigênio presente é suficiente para iniciar uma explosão, mas o gás metano usualmente difunde-se no ar ambiente em concentrações abaixo de 5% (FILHO, 2005).

Desta forma, segundo Filho (2005), para que haja risco de explosão em aterros de resíduos, as seguintes condições devem ser satisfeitas:

- a) Produção de biogás: o aterro deve estar produzindo biogás, e este biogás deve conter concentrações de metano suficientes para levar à explosão;
- b) Migração de biogás: o biogás deve estar apto a migrar pelo aterro. Tubos enterrados ou a geologia natural subsuperficial podem prover caminhos preferenciais para o gás;
- c) Existência de espaços confinados: o biogás deve estar concentrado em um espaço confinado no qual possa, potencialmente, explodir. Um espaço confinado pode ser: um buraco, um recinto residencial, ou um porão.

Embora não sejam comuns explosões de metano de aterros de resíduos, há casos documentados, como por exemplo, a explosão no ano de 1994 de um parque construído sobre um aterro em Charlotte, na Carolina do Norte – EUA, onde uma mulher foi seriamente queimada (FILHO, 2005).

Além do risco de explosão em decorrência da produção de gases em aterros de resíduos, o lixiviado também representa risco à saúde humana, pois pode vir a contaminar águas subterrâneas e superficiais devido à existência de diversos tipos de poluentes, como: compostos orgânicos, compostos nitrogenados, sólidos em suspensão, metais pesados, compostos tóxicos, entre outros (FERREIRA, 2010).

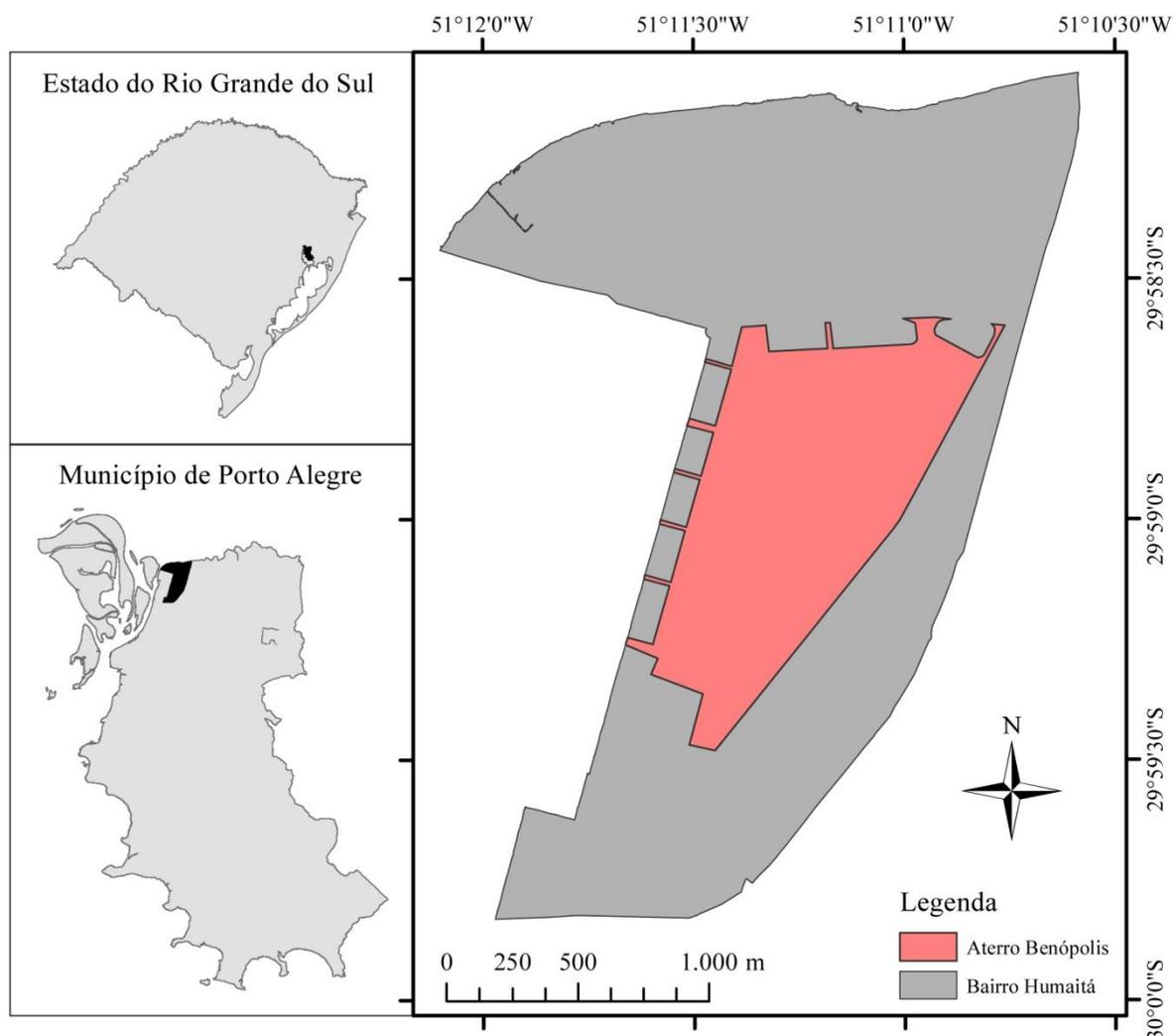
Os metais encontrados no lixiviado não são necessariamente provenientes de resíduos industriais. Os resíduos domésticos, principalmente quando não separados adequadamente, podem ser uma fonte significativa destes elementos (FERREIRA, 2010).

A exposição humana aos metais traz diversos malefícios à saúde, principalmente por se acumularem no organismo, atrapalhando as reações enzimáticas. Os sistemas mais sensíveis à contaminação são: sistema nervoso (central e periférico), sistema gastrintestinal, cardiovascular, sistema renal e sistema hematopoiético (LOBO, 2011).

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho é a antiga área de disposição de resíduos situada no bairro Humaitá, no município de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, denominada Parque Industrial e Residencial Benópolis, ou simplesmente, Aterro Benópolis, cuja localização é apresentada na **Figura 04**.

Figura 04 – Localização do Aterro Benópolis.

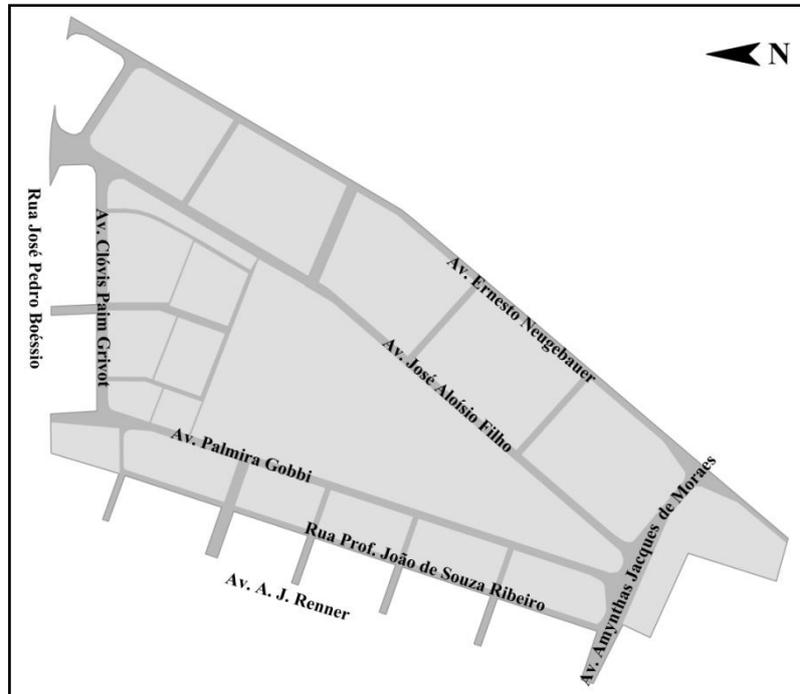


Fonte: o Autor.

O Aterro Benópolis possui uma área de aproximadamente 100 ha, ocupando cerca de 25% do bairro Humaitá. A delimitação do mesmo é dada basicamente pela Av. Ernesto Neugebauer a leste, Av. A. J. Renner a oeste, Rua José Pedro Boéssio ao norte e Av.

Amyntas Jacques de Moraes ao sul. A **Figura 05** apresenta a denominação das principais ruas e avenidas na área do aterro.

Figura 05 – Sistema viário do Aterro Benópolis.



Fonte: adaptado do software Google Earth.

Antes da execução do aterro, segundo Trindade e Figueiredo (1982), o local abrigou por muito tempo a Fazenda Mentz, onde se acredita ter havido criação de suínos. A área muito plana e com baixas cotas costumava ficar sujeita a inundações, que quando do início da construção do aterro já eram controladas pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS).

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

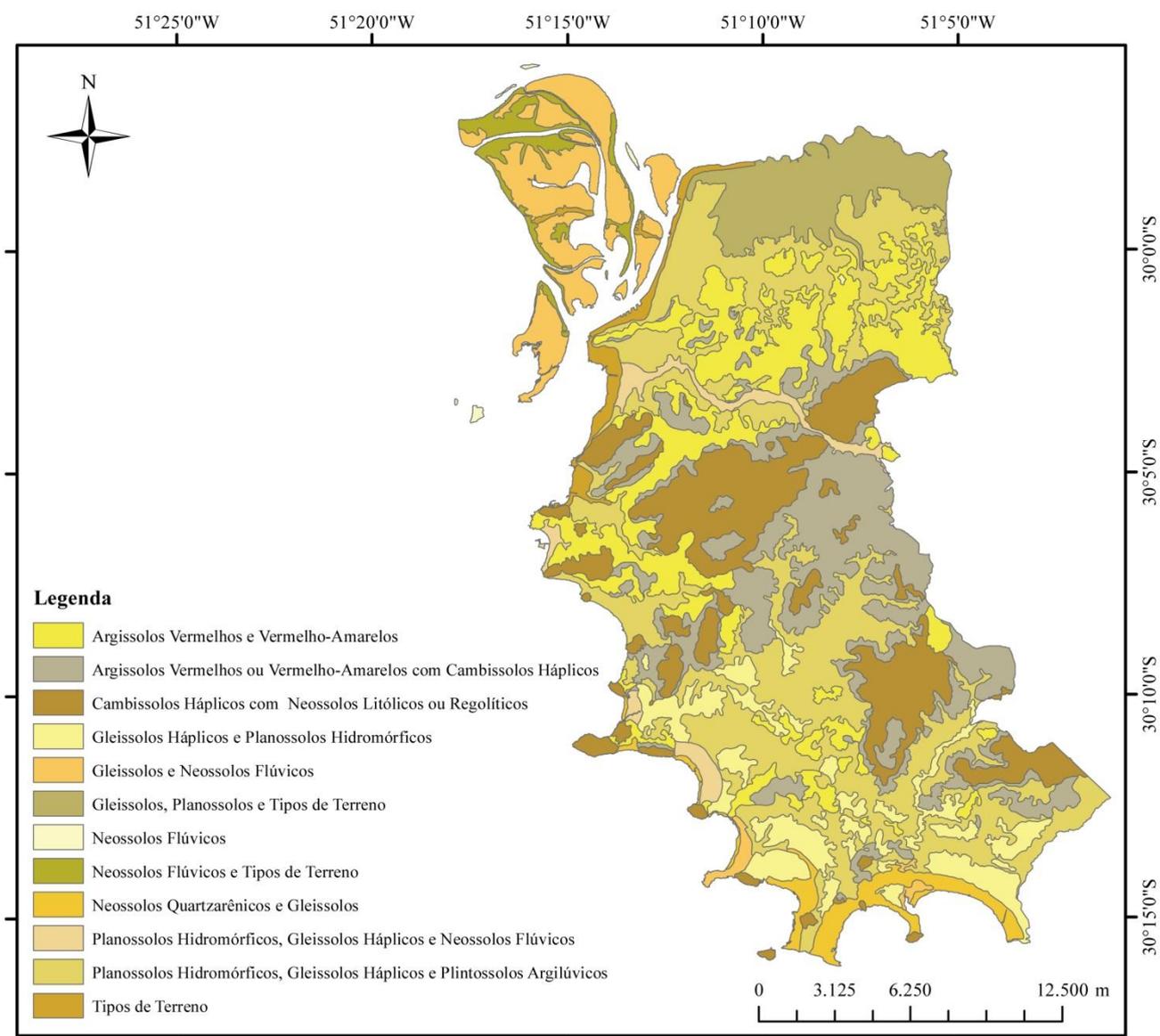
Segundo Hasenack et al. (2008), a região de Porto Alegre está localizada no Escudo Sul-riograndense, composto por diversas unidades geotectônicas que representam os principais ambientes e períodos de formação das rochas do sul do Brasil.

As rochas que compõem o substrato do município fazem parte do denominado Batólito Pelotas, a principal unidade da antiga cadeia de montanhas conhecida como Cinturão Dom Feliciano. Este cinturão apresenta fragmentos da antiga crosta continental da porção sul da Plataforma Sul-americana, sendo representado na geologia do município pelos Gnaisses Porto Alegre, uma associação de gnaisses granodioríticos e dioríticos com idade ao redor de dois bilhões de anos e, em sua ampla maioria, pelos diferentes tipos de rochas graníticas que se destacam no relevo do município.

Os Gnaisses Porto Alegre constituem uma área de relevo plano localizado na porção norte do município, onde está situada a área de estudo. Nesta região, porém, os gnaisses estão recobertos por depósitos deltaicos, terraços e planícies fluviais de sedimentos Paleozóicos da Bacia do Paraná e de Sedimentos da Bacia do Gravataí.

Os solos encontrados na porção norte de Porto Alegre, conforme pode ser observado na **Figura 06**, são solos sedimentares de áreas planas e mal drenadas (Planossolos), de depressões do microrrelevo muito mal drenadas (Gleissolos) e de partes mais elevadas do microrrelevo, moderadamente drenadas (Plintossolos). Além destes, ocorrem Neossolos Flúvicos ocupando diques marginais junto aos arroios e córregos. As características mais marcantes das áreas onde ocorrem estes solos são as cotas baixas, relevo plano, más condições de drenagem e estarem sujeitas a inundações esporádicas ou frequentes.

Figura 06 – Mapa de solos do município de Porto Alegre.



Fonte: adaptado de Hasenack et al., 2008.

A estratigrafia dos solos é composta de material de textura variada, de argilas e areias, que podem ocorrer em forma combinada ou intercalada, com coloração escura, cinza ou cinza-esverdeado. Há ocorrência de espessas camadas de “argila mole” que se apresentam superficialmente, com espessuras que variam entre 5 m e 10 m.

Ao encontro do descrito acima estão os perfis das sondagens realizadas na área antes da execução do aterro (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982). Estes apresentaram de forma geral camadas superficiais de argila siltosa com areia fina mole a muito mole, de cor

acinzentada, até profundidades em torno de 3 m, com camadas sotopostas de argila orgânica preta muito mole se estendendo até profundidades entre 7 m e 9 m. Abaixo destas foram identificadas camadas de areia fina medianamente compactas, de coloração variando entre o preto e o amarelo, até profundidades entre 10 m e 13 m. Em maiores profundidades, até o limite de 30 m, há camadas de areia fina a média intercaladas com camadas de argila siltosa ou orgânica.

As sondagens realizadas, de acordo com o esperado para a área, apresentaram lençol freático próximo à superfície, em profundidades entre 1 m e 2 m.

4.2. HISTÓRICO DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO ATERRO

Segundo Trindade e Figueiredo (1982), o Aterro Benópolis, diferentemente da grande maioria dos aterros de resíduos, teve por objetivo elevar a cota de uma área alagadiça na qual se pretendia implantar um parque industrial e residencial, que quando concluído abrigaria uma população de quinze mil pessoas. Assim, de forma inédita, o proprietário da área remunerou a Prefeitura de Porto Alegre para implantação e operação do aterro, além de fornecer apoio na abertura das vias, concessão de material de recobrimento, canteiro de obras e cooperação nos ensaios realizados.

Quando a empresa loteadora Frederico Mentz S. A. procurou o Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) em 1977 propondo um contrato de aterro, a área em questão era de apenas 10 ha. Após sua execução, realizada num período de dez meses, e sucesso dos resultados obtidos, o contrato com o DMLU foi expandido para toda área, que contempla aproximadamente 100 ha (PORTO ALEGRE, 1977).

A construção do Aterro Benópolis, além de muito favorável a empresa loteadora devido ao baixo custo de um aterro de resíduos quando comparado a aterro convencional, também preenchia os requisitos para implantação de aterro de resíduos exigidos pelo DMLU na época. Conforme descrito em Fritsch (2000), para o cumprimento destes requisitos a área deveria:

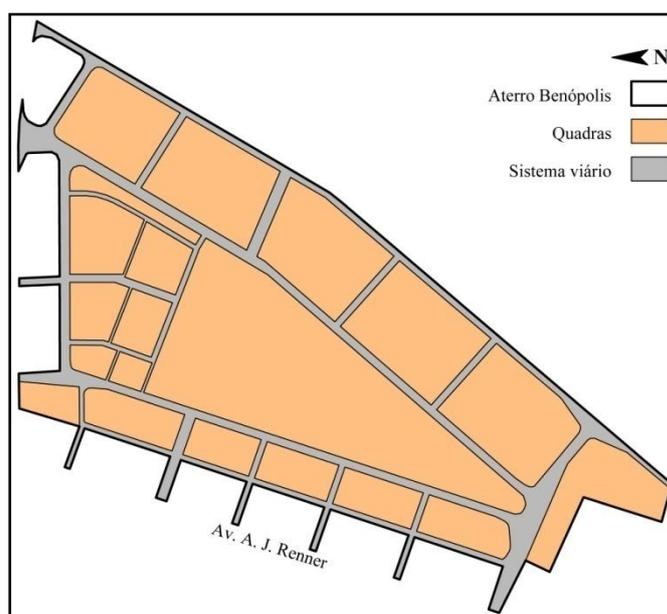
- Não estar sujeita a cheias;
- Não dispor de pontos de captação de água;
- Estar localizada em região que apresentasse infraestrutura implantada;

- Comportar capacidade para destino final de 500 toneladas diárias de resíduos, durante no mínimo um ano;
- Ter acesso a zona de coleta não superior a 15 km, através de acessos satisfatórios em épocas chuvosas.

Além do cumprimento destes requisitos, a excelente localização do aterro facilitou em muito a destinação dos RSU recolhidos pelo DMLU, recebendo durante a sua operação grande parte da coleta de resíduos realizada em Porto Alegre, que do seu início até dezembro de 1981, já havia totalizado mais de um milhão de toneladas, além de alguns resíduos industriais depositados por livre iniciativa das indústrias, entre elas, indústrias siderúrgicas e de lâmpadas de mercúrio. A execução deste projeto também propiciou ao DMLU, através dos estudos e ensaios realizados, oportunidade de aperfeiçoar as técnicas utilizadas nos aterros, visto que eles vinham sendo feitos desde o início do Século XX por ser o único sistema de destinação final em Porto Alegre (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982).

O projeto do Aterro Benópolis, apresentado na **Figura 07**, previa aterro de resíduos nas quadras, com compactação e cobertura dos mesmos, e aterro convencional em todo sistema viário numa altura média de 1 m e 20 cm, mas podendo chegar até 2 m e 70 cm em alguns pontos. Quando do início do aterramento das quadras, o sistema viário já havia sido executado, possibilitando o acesso dos caminhões de coleta e máquinas até a frente operacional do aterro. A compactação foi realizada inicialmente com a deposição de uma camada única de resíduos, sendo utilizada a técnica de cima para baixo. Porém, para a obtenção de melhores resultados de recalques, o sistema de compactação foi alterado para o de rampa ascendente, de baixo para cima, em lâminas de 20 cm de espessura de encontro ao sistema viário. A cobertura dos resíduos foi realizada com espessura mínima de 25 cm, inicialmente com pó de pedra, que segundo os ensaios realizados possui características não drenantes, com condutividade hidráulica de $2,1 \times 10^{-4}$ cm/s (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982).

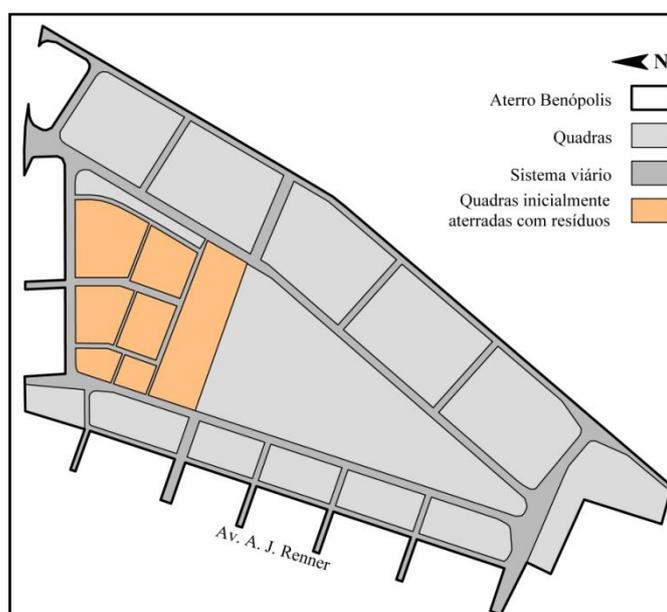
Figura 07 – Projeto de distribuição das quadras e sistema viário do Aterro Benópolis.



Fonte: adaptado de Trindade e Figueiredo, 1982.

Quanto às questões ambientais, foram instalados drenos de difusão para os eventuais gases formados e realizadas redes de drenagem superficial e profunda (pluviais e drenos), garantindo o afastamento dos líquidos percolados. O sistema de drenagem de gases foi realizado com a construção de dois tipos de drenos: drenos com pedra britada nº 2, de 20 em 20 m, até a profundidade de 1 m e 50 cm; e drenos com canos PVC, de 5 em 5 m, nas vigas em todo o térreo dos blocos de apartamento que estavam em construção em 1981 sobre as primeiras quadras aterradas, destacadas na **Figura 08** (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982). Estes drenos, conforme consta em artigo da Revista A Construção Região Sul, de novembro de 1981, seriam verificados a cada ano, num período de dez anos, juntamente com a avaliação do concreto em contato com os resíduos.

Figura 08 – Primeiras quadras a serem aterradas com resíduos.

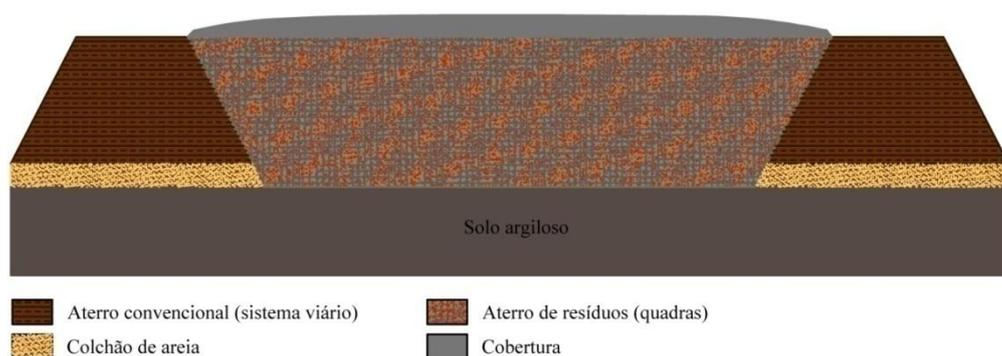


Fonte: baseado em Trindade e Figueiredo, 1982.

O sistema de drenagem superficial foi realizado de forma a evitar a percolação de líquidos através da massa de resíduos e direcioná-los a um canal que cortava o local da obra. Desta forma, o aterramento das quadras foi realizado 40 cm acima da cota do sistema viário com conformação final de abaulamento e todo sistema viário com inclinação de 1% na direção do canal (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982). Este canal, que era de jurisdição do DNOS, permitia que o sistema hidráulico funcionasse com oxidação abundante, de onde o efluente era sistematicamente bombeado para o Rio Guaíba (PORTO ALEGRE, 1977).

O sistema de drenagem do subsolo foi executado através da colocação de uma camada de areia grossa e limpa de 50 cm de espessura na base de todo sistema viário e de 20 cm nos passeios, objetivando a drenagem e filtração do chorume. (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982). O colchão drenante que foi formado na base de todo Aterro Benópolis, visto que os resíduos também apresentam boa permeabilidade, possuía uma segunda função de cunho estrutural, que será abordada na sequência. A **Figura 09** apresenta de forma esquematizada a seção transversal de uma quadra aterrada.

Figura 09 – Seção transversal esquematizada de uma quadra aterrada.



Fonte: adaptado de Trindade e Figueiredo, 1982.

Antes do início das obras do aterro foram realizadas sondagens do subsolo para avaliação da capacidade de suporte do solo, estimativa dos recalques esperados, determinação da compressibilidade, da resistência ao cisalhamento, do coeficiente de permeabilidade, entre outros, de forma a avaliar a viabilidade do projeto, principalmente pela questão da estabilidade das cargas aplicadas, visto que no local ocorrem solos muito moles (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982; HASENACK, H. et al., 2008), que são caracterizados por serem solos saturados, homogêneos, com baixa resistência ao cisalhamento e muito compressíveis, ou seja, com grande capacidade de deformação (ABRANTES, 2008).

A partir destes estudos se confirmou a necessidade de garantir a dissipação das pressões neutras geradas pelo carregamento deste tipo de solo, que ocorre pela expulsão da água existente no meio argiloso. No caso das quadras, onde o aterramento foi realizado com resíduos, as pressões geradas são de menor magnitude, visto que o peso específico dos resíduos é menor que o de solos comuns, e são dissipadas mais facilmente devido a permeabilidade dos mesmos. Já no sistema viário, onde o aterramento foi realizado com solo, foi necessário dispor na base do aterro uma camada permeável, a mesma utilizada para drenagem e filtração do chorume, facilitando assim a dissipação das pressões neutras (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982).

A água do solo proveniente da dissipação das pressões e do fenômeno de ascensão capilar, que é bastante acentuado em solos argilosos, entra em contato com os resíduos e se

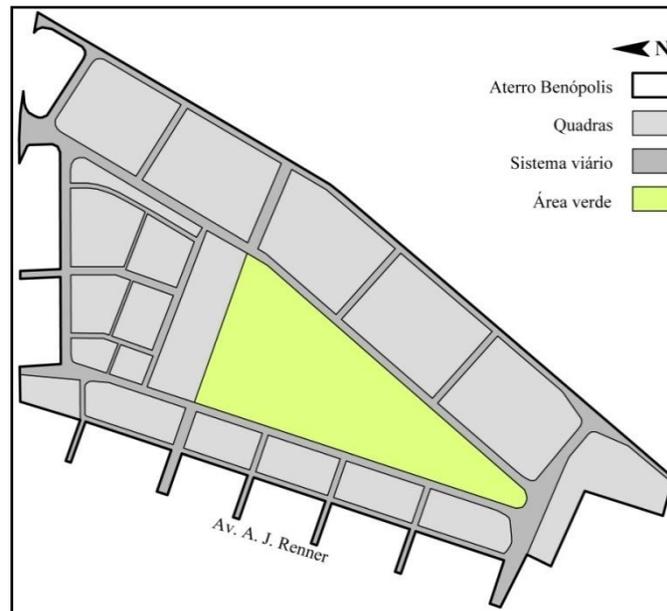
mistura ao chorume gerado, sendo drenado até o “canal de oxidação” mencionado anteriormente (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982).

Além da drenagem do lixiviado e do movimento ascendente da água do solo, que dificultam a percolação da contaminação para solos mais profundos, ensaios de permeabilidade realizados no material argiloso de base indicaram características acentuadas de impermeabilidade, através dos coeficientes de condutividade hidráulica vertical de $9,5 \times 10^{-5}$ cm/s e $8,8 \times 10^{-6}$ cm/s, que tornou esta área ainda mais propícia a execução do aterro de resíduos frente às condições da época (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982).

Também estava previsto no projeto que o loteamento seria abastecido integralmente com água tratada do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), sendo evitada a possibilidade de captação de água do subsolo para fins de uso da população (PORTO ALEGRE, 1977).

A quadra central do Aterro Benópolis seria constituída da área verde do loteamento. Inicialmente ela seria aterrada da mesma forma que as demais quadras, porém, com o intuito de preservar um bosque de eucaliptos, parte desta área permaneceu na cota original e seu entorno protegido por aterro convencional até uma distância de pelo menos 70 m, que foi o valor obtido em estudo da época quanto à área de influência dos resíduos na água subterrânea (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982). A área verde é apresentada na **Figura 10**.

Figura 10 – Área verde do Aterro Benópolis.



Fonte: baseado em Trindade e Figueiredo, 1982.

Assim como o estudo de influência dos resíduos na água subterrânea, muitos outros acompanhamentos foram realizados entre o início da operação do aterro e o ano de 1981 e relatados na publicação *Aterro Sanitário: Aspectos estruturais e ambientais*, de Trindade e Figueiredo (1982), de onde foram extraídas as informações deste tópico. Dentre os estudos realizados pode-se citar o monitoramento das águas subterrâneas entre os anos de 1979 a 1981 que evidenciou o declínio na concentração de parâmetros como DBO, DQO, Nitrogênio total e sulfato, enquanto que alguns metais, como Chumbo, Mercúrio e Cádmiio sofreram acréscimos, comprovando o comprometimento das águas subterrâneas da região, mesmo com o funcionamento do sistema de drenagem. Estudos de determinação do grau de mineralização dos resíduos indicaram que esta ocorreu num período de apenas cinco anos, quando a expectativa normal era de que o processo de fermentação não fosse concluído antes dos dez anos.

Cabe destacar que após a publicação mencionada anteriormente o aterro seguiu em operação até concluir o aterramento de toda a área prevista em projeto. Não existem registros acerca das operações realizadas posteriormente, logo não é possível garantir que estas tenham ocorrido como descritas neste tópico até o seu encerramento, que se acredita ter ocorrido em meados do ano de 1983.

5. METODOLOGIA

Para executar o presente trabalho e atingir o objetivo proposto, de avaliar o risco a saúde humana através de análise da geração de biogás e lixiviado na área do antigo Aterro Benópolis, foi realizada inicialmente uma avaliação preliminar da área. Esta etapa do gerenciamento de áreas contaminadas, conforme descrito em tópicos anteriores, é pré-requisito para a realização das etapas subsequentes, pois a partir dela são direcionadas as ações das investigações seguintes.

A avaliação preliminar nada mais é do que a realização de um diagnóstico da área em estudo, onde são levantadas informações passadas e atuais. Neste trabalho o diagnóstico foi executado basicamente em duas fases: coleta de dados existentes na bibliografia e reconhecimento da área nos dias atuais.

Na primeira fase, coleta de dados existentes na bibliografia, foi realizado um estudo histórico de implantação e operação do aterro mediante a consulta a livros e processos administrativos, bem como um levantamento das características do meio físico onde o aterro está inserido. Para o estudo histórico buscou-se ainda fotografias ou imagens aéreas da área para a realização de uma análise multitemporal, porém sem sucesso devido à época de execução do aterro. Esta primeira fase objetivou produzir conhecimento geral sobre a área de estudo, permitindo a definição de estratégias de atuação na fase seguinte.

Na segunda fase do diagnóstico, reconhecimento da área nos dias atuais, buscou-se a realização de entrevistas com pessoas que de alguma forma atuaram na época de execução do aterro e que poderiam fornecer informações complementares as obtidas nos documentos consultados. Apenas uma entrevista pôde ser realizada, visto a dificuldade de se localizar estas pessoas.

A condução da entrevista foi realizada seguindo os preceitos de uma Entrevista Aberta, que tem como ponto fundamental a escuta ativa, em que o entrevistador acompanha aspectos das respostas do entrevistado, mas, acima de tudo, permite-lhe espaço para falar e atribuir significados, mantendo em mente os objetivos mais amplos do trabalho (SILVERMAN, 2009).

Na segunda fase também foram realizadas inspeções em campo, consulta ao Sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS) e análise de estudos realizados

pela empresa Sapotec Sul Soluções Ambientais (SAPOTEC), de forma a caracterizar a atual condição e os atuais usos do solo e da água subterrânea do Aterro Benópolis.

As inspeções em campo foram realizadas percorrendo a área do aterro, identificando e registrando através de fotografias os usos e instalações existentes no local.

Sequencialmente, foram cruzadas todas as informações obtidas na avaliação preliminar, proporcionando uma análise geral da área do Aterro Benópolis e discussões acerca da geração de biogás e lixiviado e das áreas prioritárias quanto à saúde da população.

A compilação dos dados e as discussões realizadas forneceram as conclusões, não absolutas, quanto à avaliação do risco à saúde da população, bem como a definição das próximas ações a serem tomadas na área em estudos subsequentes.

6. RESULTADOS

6.1. ENTREVISTA

A entrevista realizada se deu no dia 13 de junho de 2014 com Engenheiro que atuou na execução e operação do Aterro Benópolis.

Com a entrevista se buscou obter e confirmar informações acerca das técnicas utilizadas no aterro à época, principalmente se estas técnicas haviam sido respeitadas para toda a área do aterro ou apenas para as primeiras quadras aterradas (Figura 08), que foram aquelas que geraram as informações de que trata a publicação *Aterro Sanitário: Aspectos estruturais e ambientais*.

O Engenheiro mencionou que acompanhou o aterramento dos resíduos apenas nas quadras iniciais, e que este foi realizado de fato como descrito na publicação mencionada. As quadras recebiam os resíduos, estes eram compactados de encontro ao sistema viário e a camada de cobertura (pó-de-pedra) era colocada apenas quando a quadra estivesse totalmente preenchida por resíduos. Também se confirmou a existência dos drenos de gás colocados junto aos residenciais que foram construídos nas primeiras quadras.

Sobre a área verde, o atual Parque Marechal Mascarenhas de Moraes, se confirmou estar livre de resíduos, destacando que parte da área foi mantida na cota original do terreno e as demais aterradas com aterro convencional.

Quanto às demais quadras do aterro, junto a Av. Ernesto Neugebauer e a Rua Prof. João de Souza Ribeiro, não se obtiveram informações, pois quando do aterramento destas o entrevistado não mais trabalhava junto ao Aterro Benópolis. Desta forma, não se pôde confirmar que as técnicas descritas na publicação *Aterro Sanitário: Aspectos estruturais e ambientais* tenham sido mantidas nestas quadras.

Finalizando a entrevista, o Engenheiro ressalta que as técnicas utilizadas para a execução do Aterro Benópolis eram vistas à época como adequadas e até mesmo inovadoras em alguns aspectos, mas que para os dias atuais estas são totalmente refutáveis.

6.2. INSPEÇÃO DE RECONHECIMENTO DA ÁREA

As inspeções realizadas para o reconhecimento da área de estudo e determinação do uso e ocupação atual do solo foram realizadas nos dias 28 de fevereiro e 21 de junho de 2014. A caracterização foi realizada classificando-se as áreas segundo os seguintes usos: residencial, comercial/industrial, instituição de ensino, igreja, casa de festas, áreas verdes, áreas sem uso e sistema viário.

A **Figura 11** apresenta o uso e ocupação do solo no Aterro Benópolis, conforme classificação descrita anteriormente. O croqui esquemático da área do aterro foi georreferenciado no software ArcGIS, sendo possível desta forma calcular a distribuição percentual dos usos do solo conforme segue, evidenciando a ocupação de caráter misto que ocorre na área:

- Área sem uso: 9,66%;
- Área verde: 19,79%;
- Casa de festas: 0,20%;
- Comercial/industrial: 14,81%;
- Igreja: 0,19%;
- Instituição de ensino: 4,21%;
- Residencial: 29,43%;
- Sistema viário: 21,71%

Figura 11 – Uso e ocupação do solo no Aterro Benópolis.



Fonte: o Autor.

A partir da classificação geral da área, foi realizada uma descrição detalhada de cada quadra do aterro, de acordo com a numeração apresentada na Figura 11. Os registros fotográficos realizados nas inspeções de campo se encontram no **Apêndice A** deste trabalho.

Quadra 1:

A Quadra 1 é composta por um residencial, uma área sem uso e edificações de uso comercial e industrial. O residencial, denominado Residencial Croma, se caracteriza por

um conjunto habitacional multifamiliar de aproximadamente 2,5 ha, com edificações de 5 andares.

Na área comercial/industrial foram identificadas cinco empresas: Peguspan, comércio de produtos de limpeza, materiais de higiene e equipamentos de proteção individual; Autoglass, prestação de serviços junto ao mercado segurador e comércio de vidros e peças automotivas; Solaris, locação de equipamentos para a indústria, construção, serviços e entretenimento; Alumínio & Cia, distribuição de esquadrias de alumínio; e Box Multiresultados, serviço de impressão digital, adesivagem, sinalização e personalização de ambientes.

Quadra 2:

A Quadra 2 é composta por três residenciais, uma área sem uso e duas áreas de comércio e serviços de pequeno porte. Os três residenciais, denominados Alqueires Residence, Tulipas e Jardim Lírios, se caracterizam por conjuntos habitacionais unifamiliares com áreas em torno de 1 ha, 1,5 ha e 1,5 ha, respectivamente.

Quadra 3:

A Quadra 3 é composta por um residencial, galpões sem identificação e uma unidade de ensino do SEST SENAT. O residencial, denominado Residencial Flora, se caracteriza por um conjunto habitacional multifamiliar de aproximadamente 3 ha, com edificações de 5 andares, no mesmo *layout* do Residencial Croma.

Quadra 4:

A Quadra 4 é composta por um residencial, duas áreas sem uso e edificações de uso comercial e industrial. O residencial, denominado Residencial Verdi, se caracteriza por um conjunto habitacional multifamiliar de aproximadamente 2,5 ha, com edificações de 5 andares, no mesmo *layout* dos Residenciais Croma e Flora.

Na área comercial/industrial foram identificadas seis empresas: Kieling Multimodal, serviço de logística; Toli Distribuidora, distribuição de autopeças; Alusistem, fabricação e comércio de esquadrias de alumínio; Engepeças, comércio de peças para tratores, motores Diesel, material rodante e ferramentas de penetração no solo; Bastos &

Jung, comércio e logística de produtos alimentícios; e Bento Encomendas, serviços de transporte, armazenamento, distribuição e logística.

Quadra 5:

A Quadra 5 é composta por um residencial em construção, uma área em processo de remediação, que abrigará futuramente um residencial, uma área sem uso e edificações de uso comercial e industrial.

Na área comercial/industrial foi identificado um condomínio empresarial, denominado Mercosul, uma empresa distribuidora de água mineral e outras duas empresas: Sifra, comércio de materiais elétricos; e Medibase, comércio e distribuição de medicamentos.

Quadra 6:

A Quadra 6 é composta por uma área residencial e uma área comercial. A área residencial se caracteriza por residências unifamiliares, muitas delas em situação de habitação irregular. A área comercial abriga a garagem de ônibus da empresa Santo Anjo e a empresa Mirim do Sul Transportes e Logística.

Quadra 7:

A Quadra 7 é composta por um residencial e duas áreas de comércio e serviços de pequeno porte. O residencial, denominado Garden Park Humaitá, se caracteriza por conjunto habitacional multifamiliar com área de aproximadamente 2 ha, com edificações de 7 andares.

Quadra 8:

A Quadra 8 é composta unicamente por empresas, apresentando apenas uma pequena área sem uso. As empresas identificadas foram: Ilha Sul Construções Náuticas; Oficina Mecânica Baretta; Gelo POP, indústria e comércio de gelo; Liquigás Distribuidora, distribuição de gás de cozinha; Transadubo, serviço de transporte rodoviário; e Nutriport Sul, serviços e comércio de produtos da área da saúde.

Quadra 9:

A Quadra 9 é utilizada para depósito de solo e materiais inertes, muito provável utilizados para aterramento. Não se identificou a empresa responsável pela área.

Quadra 10:

A Quadra 10 se encontra atualmente sem uso, porém abrigará futuramente as instalações do sistema cooperativo empresarial Unimed/RS.

Quadra 11:

A Quadra 11 é composta por um residencial e duas áreas de comércio e serviços de pequeno porte. O residencial, denominado Lá Spezia, se caracteriza por conjunto habitacional multifamiliar com área de aproximadamente 2 ha, com edificações de 10 andares.

Quadra 12:

A Quadra 12 compreende a área da empresa Zandona Guindastes e Transportes.

Quadras 13, 14 e 15:

As Quadras 13, 14 e 15 são compostas basicamente de residenciais, todos apresentando o mesmo *layout*, caracterizados por conjuntos habitacionais multifamiliares, com edificações de 4 andares. A área total das três quadras é de aproximadamente 10 ha.

Quadra 16:

A Quadra 16 é composta por um residencial, duas instituições de ensino, uma igreja e um Centro de Tradições Gaúchas (CTG). O residencial possui área de aproximadamente 1 ha e apresenta o mesmo *layout* dos residenciais das quadras 13, 14 e 15.

As instituições de ensino são escolas de ensino fundamental, denominadas Escola Estadual de Ensino Fundamental José Garibaldi e Escola Municipal de Ensino Fundamental Vereador Antonio Giudice.

Áreas Verdes:

As áreas verdes do Aterro Benópolis são constituídas pela Praça Engenheiro Daniel Ribeiro, ao lado da quadra 15, e pelo Parque Marechal Mascarenhas de Moraes na porção central. Este último apresenta uma área de aproximadamente 20 ha, sendo grande parte constituída por banhado.

6.3. CONSULTA AO SIAGAS

O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), em funcionamento desde 1997, foi criado pelo Serviço Geológico do Brasil e é composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizados, e de módulos capazes de realizar consulta, pesquisa, extração e geração de relatórios. Com o armazenamento, sistematização e disponibilização de dados e informações georreferenciadas, o sistema permite maior flexibilidade e intercâmbio das diversas bases de dados, bem como a otimização do gerenciamento das águas subterrâneas.

Baseado nisso, em 07 de dezembro de 2006, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) aprovou a Moção CNRH nº 38, “dirigida aos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, às Secretarias de governos estaduais responsáveis pela gestão de recursos hídricos, à Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, à Agência Nacional de Águas (ANA) e aos usuários dos recursos hídricos subterrâneos, recomendando que promovam a adoção do SIAGAS como base nacional compartilhada para a armazenagem, o manuseio, o intercâmbio e a difusão de informações sobre águas subterrâneas”.

Sendo assim, a consulta ao SIAGAS, realizada no dia 20 de maio de 2014, objetivou identificar a existência de usuários das águas subterrâneas na área do aterro e arredores, tendo em vista o comprometimento da qualidade do aquífero livre pelos resíduos aterrados.

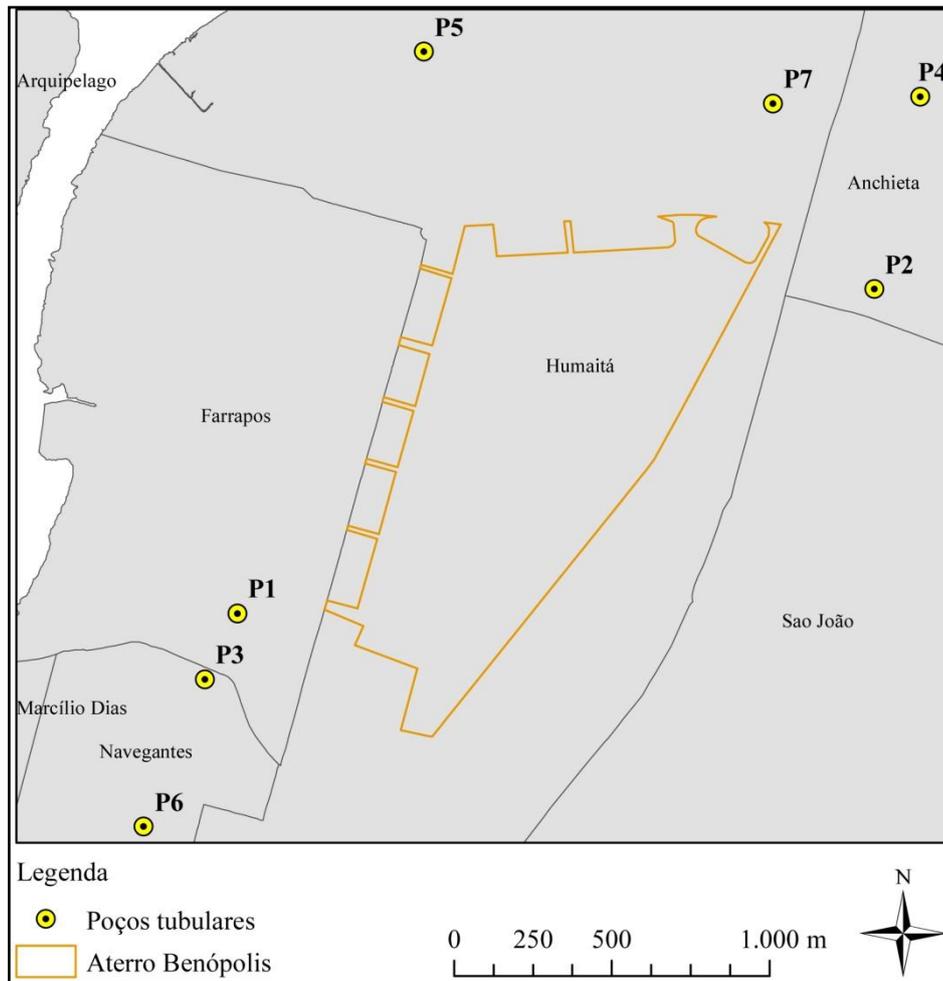
Na área do Aterro Benópolis não foi identificado nenhum poço cadastrado, conforme apresentado na **Figura 12**. Nos arredores, em um raio de aproximadamente 1500 m, foram identificados sete poços tubulares profundos (Figura 12), cujas coordenadas UTM, datas de perfuração e profundidades são apresentadas na **Tabela 04**. O sistema não

possui informações acerca da situação destes poços, se em operação ou não, nem dos usos da água captada.

O poço mais próximo ao aterro se encontra a uma distância de aproximadamente 350 m da porção limítrofe sudoeste deste, no bairro Farrapos. Os demais poços estão distribuídos: dois no bairro Humaitá, a norte do aterro; dois no bairro Anchieta, a nordeste; e dois no bairro navegantes, a sudoeste.

Salienta-se que os poços cadastrados no SIAGAS são aqueles com licença para perfuração e outorga de direito de uso da água. Desta forma, a pesquisa realizada não exclui a possibilidade de existência de poços em situação ilegal.

Figura 12 – Poços cadastrados no SIAGAS.



Fonte: baseado em SIAGAS, 2014.

Tabela 04 – Dados dos poços cadastrados no SIAGAS.

Poço	Latitude UTM	Longitude UTM	Data da perfuração	Profundidade (m)
P1	6682550	480975	22/06/1969	60
P2	6683583	482995	23/10/1999	157
P3	6682340	480872	06/09/1999	196
P4	6684197	483140	06/02/2004	250
P5	6684340	481566	20/03/2011	54
P6	6681870	480678	12/09/1999	196
P7	6684175	482673	15/07/1999	230

Fonte: baseado em SIAGAS, 2014.

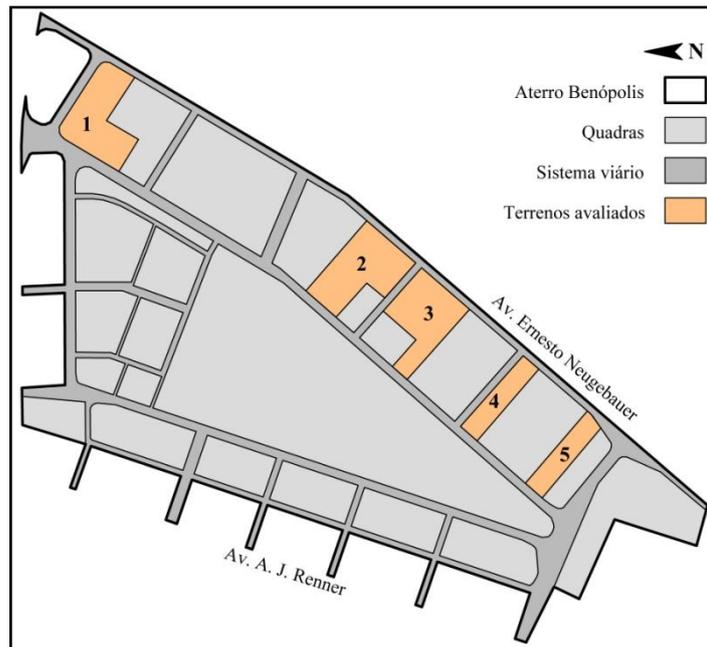
6.4. CONSULTA AOS ESTUDOS REALIZADOS PELA SAPOTEC

A Sapotec Sul Soluções Ambientais (SAPOTEC), criada no ano de 2000, é uma empresa brasileira subsidiária da Holding alemã ZECH Umwelt, integrante do ZECH GROUP. A empresa atua nas áreas de avaliação de passivos ambientais; projetos, implantação e operação de sistemas de remediação de solos e águas subterrâneas; monitoramento ambiental; gerenciamento de remoção de solos contaminados e resíduos; e tratamento biológico off site de solos contaminados com hidrocarbonetos.

Os trabalhos realizados pela SAPOTEC na área do Aterro Benópolis foram motivados por processos de licenciamento ambiental de terrenos para construção de condomínios residenciais e podem ser acessados na Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) de Porto Alegre, nos processos administrativos nº 001.040679.07.1, 001.040680.07.8, 001.004177.08.8, 001.006323.11.1 e 001.006161.13.8. Os serviços compreenderam a avaliação e identificação dos resíduos aterrados nos terrenos, para posterior remoção deles, com devido acompanhamento da qualidade dos solos, águas subterrâneas e gases.

Os terrenos avaliados pela SAPOTEC são apresentados na **Figura 13** e as informações relevantes sobre cada um deles são descritas na sequência.

Figura 13 – Terrenos avaliados pela empresa SAPOTEC.



Fonte: o Autor.

Terreno 1:

Os serviços ambientais prestados pela SAPOTEC iniciaram no ano de 2009 com a elaboração de um Plano de Remoção de Resíduos e Diagnóstico Ambiental dos Solos e Águas Subterrâneas (SAPOTEC, 2009a). Estudos preliminares já haviam sido realizados pelas empresas Profill Engenharia e Ambiente e GEO Projetos e Meio Ambiente.

Os estudos apontaram que o aterramento do terreno foi realizado basicamente com resíduos da construção civil dispostos em uma camada de espessura de 1,4 m, recobertos por uma camada de solo de 2,5 m. A presença de resíduos sólidos urbanos foi identificada em apenas quatro pontos isolados, misturados aos resíduos da construção civil.

O monitoramento dos gases realizado pela Profill não detectou a presença de biogás, visto que todos os gases (sulfídrico, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e oxigênio) medidos apresentaram resultados fora da curva de equilíbrio do biogás. Inclusive, a composição dos gases se apresentou semelhante a do ar atmosférico.

A remoção dos RSU, realizada nos locais onde estes foram identificados, foi realizada no ano de 2010, totalizando 480 toneladas de resíduos que foram encaminhados

para o Aterro Sanitário do município de Minas do Leão - RS. Os locais onde foram removidos os resíduos foram reaterrados com areia, calça e/ou argila. Ainda, sobre todo o terreno, foi disposta uma camada de argila com espessura de 1 m (SAPOTEC, 2010g).

Após a remoção dos resíduos, ainda no ano de 2010, foi realizado novo diagnóstico ambiental do terreno (SAPOTEC, 2010d) para definir, caso necessário, novas medidas para eliminação dos riscos à saúde humana.

O lençol freático da área foi detectado a profundidades entre 2 e 3 m, com pH na faixa do neutro e condutividade entre 526 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1962 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados analíticos obtidos não indicaram quaisquer alterações na qualidade dos solos subjacentes aos RSU removidos, tão pouco foram identificados nas águas subterrâneas compostos orgânicos voláteis (VOC), compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC), benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos (BTEX) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH). Ainda nas águas subterrâneas, porém, foram identificadas concentrações traço de alguns compostos da classe dos fenóis e para compostos inorgânicos algumas concentrações foram detectadas acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009.

A **Tabela 05** apresenta os resultados analíticos dos pontos que apresentaram pelo menos um composto acima dos limites estabelecidos.

Tabela 05 – Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 1.

Parâmetros	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-09	Conama 420 Investigação
Alumínio	210	230	570	70	100	70	70	30	3500
Antimônio	37	Nd	nd	nd	45	nd	164	14	5
Arsênio	Nd	Nd	52	82	nd	nd	nd	nd	10
Bário	280	200	440	210	410	240	290	20	700
Boro	Nd	200	nd	460	480	240	100	40	500
Cádmio	Nd	Nd	nd	9	7	4	6	1	5
Chumbo	Nd	Nd	nd	186	168	139	115	nd	10
Cianeto Total	110	100	80	100	70	60	100	60	-
Cloreto	77000	157000	203000	99000	36000	65000	39000	48000	-
Cobalto	8	Nd	nd	103	10	23	27	4	70
Cobre	Nd	Nd	nd	9	9	7	1	7	2000
Cromo	6	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50
Cromo VI	Nd	120	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Estanho	Nd	Nd	nd	80	150	40	140	10	-
Ferro	130	100	220	940	160	5600	2810	nd	2450
Fluoretos	750	400	660	400	900	400	600	400	-
Lítio	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Manganês	10226	2530	1007	44626	1771	18973	15914	14	400
Mercúrio	0,2	Nd	nd	nd	nd	0,3	0,3	nd	1
Molibdênio	90	Nd	nd	400	90	50	50	nd	70
Níquel	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20
Nitrato	Nd	Nd	nd	12	15	16	nd	nd	10000
Nitrito	180	6	nd	8	14	11	11	nd	-
Prata	Nd	Nd	nd	nd	nd	1	nd	nd	50
Selênio	Nd	Nd	nd	nd	175	74	156	nd	10
Sódio	15230	55500	33710	52010	25370	38960	24150	28970	-
Sólidos Dissolvidos	1250000	810000	1400000	1330000	1810000	1310000	880000	1100000	-
Sulfato	200820	44000	99380	548000	13000	432000	81000	3000	-
Vanádio	Nd	Nd	nd	50	nd	nd	nd	nd	-
Zinco	69	20	45	29	13	19	40	nd	1050

*Todos os valores em µg/L; nd: não detectado.

Fonte: SAPOTEC, 2010d.

Quanto a presença de gases, não foram detectadas concentrações de compostos voláteis, tampouco de gás metano. Porém, como medida de segurança adicional, foi instalado na área um sistema de drenagem (SAPOTEC, 2010d).

Para classificar a área como reabilitada para uso declarado e evitar que houvesse contato dos futuros residentes do empreendimento com a água impactada do aquífero freático, foi averbado no registro do imóvel um texto com as seguintes restrições, também presentes no manual do proprietário (PORTO ALEGRE, 1977):

- Proibida a ingestão das águas subterrâneas do aquífero freático local, bem como utilização destas para qualquer tipo de uso;
- Proibido o plantio de árvores frutíferas ou a produção de verduras ou hortaliças na área do empreendimento;
- No caso de qualquer obra de escavação no perímetro da quadra, utilizar equipamentos de proteção individual – EPIs adequados e acompanhamento ambiental de profissional habilitado.

Terreno 2:

Os serviços ambientais prestados pela SAPOTEC iniciaram no ano de 2009 com a elaboração de um Plano de Remoção de Resíduos e Diagnóstico Ambiental dos Solos e Águas Subterrâneas (SAPOTEC, 2009b). Estudos preliminares já haviam sido realizados pelas empresas Profill Engenharia e Ambiente e GEO Projetos e Meio Ambiente.

Os estudos apontaram que o aterramento do terreno foi realizado basicamente com RSU dispostos em uma camada de espessura de aproximadamente 1,5 m. Porém, também se constatou a presença de resíduos da construção civil. A camada de cobertura dos resíduos era constituída de solo argiloso em espessura de 30 a 50 cm, que se encontrava parcialmente misturada aos resíduos.

O monitoramento dos gases realizado pela Profill não detectou a presença de biogás, visto que todos os gases (sulfídrico, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e oxigênio) medidos apresentaram resultados fora da curva de equilíbrio do biogás. Inclusive, a composição dos gases se apresentou semelhante a do ar atmosférico.

A remoção dos RSU no Terreno 2 foi realizada no ano de 2010, totalizando 42.770 toneladas de resíduos que foram encaminhadas para o Aterro Sanitário do município de Minas do Leão - RS. Os resíduos remanescentes no terreno estão localizados no perímetro do mesmo, não podendo ser removidos devido a restrições geotécnicas. A recomposição da área foi realizada com material inerte, uma camada de areia e solo superficial limpo que

havia sido removido no início das escavações. Ainda, sobre todo o terreno, foi disposta uma camada de argila com espessura de 1 m (SAPOTEC, 2010e).

Após a remoção dos resíduos, ainda no ano de 2010, foi realizado novo diagnóstico ambiental do terreno (SAPOTEC, 2010c) para definir, caso necessário, novas medidas para eliminação dos riscos à saúde humana.

O lençol freático da área foi detectado a profundidades entre 1,2 e 2,2 m, com pH na faixa do neutro e condutividade entre 242 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados analíticos obtidos não indicaram quaisquer alterações na qualidade dos solos subjacentes aos RSU removidos, tão pouco foram identificados nas águas subterrâneas compostos dos grupos VOC, BTEX, PAH e fenóis. Ainda nas águas subterrâneas, porém, foram identificadas concentrações traço de alguns compostos da classe SVOC e para compostos inorgânicos algumas concentrações foram detectadas acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009.

A **Tabela 06** apresenta os resultados analíticos dos pontos que apresentaram pelo menos um composto acima dos limites estabelecidos.

Tabela 06 – Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 2 (continua).

Parâmetros	PM-18	PM-19	PM-22	PM-23	PM-24	PM-25	PM-26	PM-27	PM-28	PM-29	Conama 420 Investigação
Alumínio	nd	nd	30	nd	nd	20	nd	40	10	10	3500
Antimônio	30	12	nd	nd	nd	nd	12	nd	13	19	5
Arsênio	nd	11	nd	nd	nd	nd	nd	10	nd	nd	10
Bário	180	390	250	110	170	140	60	100	140	160	700
Boro	nd	100	190	330	140	70	120	110	110	80	500
Cádmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
Chumbo	nd	nd	nd	5	9	14	nd	nd	nd	nd	10
Cianeto Total	60	100	100	100	80	120	130	100	120	100	-
Cloreto	85000	39000	39000	72000	54000	52000	32000	170000	172000	81000	-
Cobalto	6	3	11	4	3	3	2	2	48	10	70
Cobre	nd	5	4	3	10	9	3	7	11	15	2000
Cromo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1	2	1	50
Cromo VI	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Estanho	40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Fenol	nd	nd	nd	nd	0,6	0,6	nd	nd	nd	nd	140
Ferro	nd	30	60	nd	nd	nd	nd	nd	50	nd	2450
Fluoretos	900	400	600	800	nd	nd	1000	300	nd	500	-
Lítio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Manganês	5040	848	7963	2390	757	930	279	190	19011	4364	400
Mercúrio	nd	nd	nd	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	1
Molibdênio	nd	nd	nd	10	nd	nd	nd	20	nd	nd	70
Níquel	nd	9	nd	nd	7	10	nd	nd	14	9	20
Nitrato	10	nd	129	743	167	451	nd	20	152	407	10000
Nitrito	34	9	100	1124	81	119	187	227	492	205	-
Prata	nd	nd	nd	nd	1	3	nd	nd	1	1	50
Selênio	nd	nd	13	63	36	38	61	9	nd	nd	10
Sódio	109800	141440	221530	353090	39340	15450	145270	350030	565240	388900	-
Sólidos Dissolvidos	1270000	584000	558000	205000	1980000	1240000	639000	1410000	1730000	1870000	-
Sulfato	491000	297000	51000	128000	335000	71000	98000	1037000	1305000	481000	-
Vanádio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Zinco	nd	nd	nd	nd	nd	16	nd	nd	13	5	1050

*Todos os valores em µg/L; nd: não detectado.

Fonte: SAPOTEC, 2010c.

Tabela 06 – Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 2 (conclusão).

Parâmetros	PM-30	PM-32	PM-33	PM-D	PM-E	PM-F	PM-G	PM-J	PM-L	Conama 420 Investigação
Alumínio	90	560	nd	nd	30	590	130	nd	nd	3500
Antimônio	6	24	8	15	25	nd	nd	20	10	5
Arsênio	nd	nd	19	nd	nd	nd	nd	nd	30	10
Bário	100	200	150	130	200	220	250	100	200	700
Boro	80	290	70	180	210	260	280	100	400	500
Cádmio	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
Chumbo	8	11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10
Cianeto Total	70	110	60	110	70	100	100	120	120	-
Cloreto	95000	149000	91000	47000	86000	62000	157000	30000	25000	-
Cobalto	13	11	2	6	7	10	10	nd	nd	70
Cobre	5	3	2	3	2	5	6	nd	nd	2000
Cromo	nd	1	nd	3	1	1	nd	nd	nd	50
Cromo VI	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Estanho	nd	nd	nd	nd	10	nd	nd	nd	nd	-
Fenol	nd	0,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	140
Ferro	50	620	nd	840	110	360	120	nd	900	2450
Fluoretos	600	nd	400	nd	nd	500	600	nd	nd	-
Lítio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Manganês	7330	665	636	7179	7505	1256	1066	680	940	400
Mercúrio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	0,3	0,3	1
Molibdênio	nd	10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	70
Níquel	5	8	10	7	6	nd	nd	nd	nd	20
Nitrato	603	238	7	nd	60	160	104	nd	nd	10000
Nitrito	4412	54	29	nd	15	193	170	nd	nd	-
Prata	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50
Selênio	43	42	28	nd	nd	60	50	nd	nd	10
Sódio	248210	55730	44510	102690	161700	534710	1389510	40100	22500	-
Sólidos Dissolvidos	1020000	1270000	1580000	431000	784000	529000	91000	580000	202000	-
Sulfato	293000	342000	240000	141000	380000	19000	10000	16000	30000	-
Vanádio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Zinco	nd	nd	nd	5	5	nd	nd	nd	nd	1050

*Todos os valores em µg/L; nd: não detectado.

Fonte: SAPOTEC, 2010c.

Quanto a presença de gases, não foram detectadas concentrações de compostos voláteis, tampouco de gás metano. Porém, como medida de segurança adicional, foi instalado na área um sistema de drenagem de gases (SAPOTEC, 2010c).

Da mesma forma ocorrida no Terreno 1, para classificar a área como reabilitada para uso declarado e evitar que houvesse contato dos futuros residentes do empreendimento com a água impactada do aquífero freático, foi averbado no registro do imóvel um texto com as restrições de uso da área.

Terreno 3:

Os serviços ambientais prestados pela SAPOTEC iniciaram no ano de 2009 com a elaboração de um Plano de Remoção de Resíduos e Diagnóstico Ambiental dos Solos e Águas Subterrâneas (SAPOTEC, 2009b). Estudos preliminares já haviam sido realizados pelas empresas Profill Engenharia e Ambiente e GEO Projetos e Meio Ambiente.

Os estudos apontaram que o aterramento do terreno foi realizado basicamente com RSU dispostos em uma camada de espessura de aproximadamente 2 m. Porém, também se constatou a presença de resíduos da construção civil. A camada de cobertura dos resíduos era constituída de solo argiloso em espessura de 30 a 50 cm, que se encontrava parcialmente misturada aos resíduos.

O monitoramento dos gases realizado pela Profill não detectou a presença de biogás, visto que todos os gases (sulfídrico, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e oxigênio) medidos apresentaram resultados fora da curva de equilíbrio do biogás. Inclusive, a composição dos gases se apresentou semelhante a do ar atmosférico.

A remoção dos RSU no Terreno 3 (**Figura 14**) foi realizada entre os anos de 2009 e 2010, totalizando 41.580 toneladas de resíduos que foram encaminhados para o Aterro Sanitário do município de Minas do Leão - RS. Os resíduos remanescentes no terreno estão localizados no perímetro do mesmo, não podendo ser removidos devido a restrições geotécnicas. A recomposição da área foi realizada com material inerte, uma camada de areia e solo superficial limpo que havia sido removido no início das escavações. Ainda, sobre todo o terreno, foi disposta uma camada de argila com espessura de 1 m (SAPOTEC, 2010f).

Figura 14 – Remoção dos resíduos no Terreno 3.



Fonte: SAPOTEC, 2010d.

Após a remoção dos resíduos, ainda no ano de 2010, foi realizado novo diagnóstico ambiental do terreno (SAPOTEC, 2010b) para definir, caso necessário, novas medidas para eliminação dos riscos à saúde humana.

O lençol freático da área foi detectado a profundidades entre 0,9 e 1,7 m, com pH na faixa do neutro e condutividade entre 206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 5042 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os resultados analíticos obtidos não indicaram quaisquer alterações na qualidade dos solos subjacentes aos RSU removidos, tão pouco foram identificados nas águas subterrâneas compostos dos grupos VOC, BTEX, PAH e fenóis. Ainda nas águas subterrâneas, porém, foram identificadas concentrações traços de um composto da classe SVOC (bis(2-etilhexil)ftalato), que em um ponto ficou acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009, assim como as concentrações de alguns compostos inorgânicos.

A **Tabela 07** apresenta os resultados analíticos de compostos inorgânicos dos pontos que apresentaram pelo menos um composto acima dos limites estabelecidos.

Tabela 07 – Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 3 (continua).

Parâmetros	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-07	PM-08	PM-09	PM-10	PM-11	Conama 420 Investigação
Alumínio	30	130	80	nd	nd	30	30	110	200	550	3500
Antimônio	2	11	16	nd	nd	12	nd	9	nd	nd	5
Arsênio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10
Bário	310	240	130	190	260	200	130	210	130	120	700
Boro	100	180	140	100	120	90	100	60	90	100	500
Cádmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
Chumbo	nd	nd	nd	nd	nd	7	nd	nd	nd	8	10
Cianeto Total	240	180	280	nd	nd	320	160	230	150	130	-
Cloreto	195000	35000	226000	8000	270000	289000	138000	156000	108000	53000	-
Cobalto	4	10	8	nd	9	16	3	4	2	4	70
Cobre	6	3	5	3	18	4	5	1	3	4	2000
Cromo	1	nd	2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50
Cromo VI	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Estanho	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	nd	-
Fenol	nd	0,7	nd	2,9	7,7	0,8	0,8	1,5	0,9	nd	140
Ferro	nd	130	30	nd	nd	nd	nd	60	120	290	2450
Fluoretos	500	400	600	600	600	nd	700	500	500	nd	-
Lítio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Manganês	3597	646	nd	27	4079	3030	2109	1699	594	584	400
Mercúrio	nd	nd	0,2	0,2	nd	0,4	0,2	nd	nd	nd	1
Molibdênio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	70
Níquel	7	7	10	nd	11	nd	6	nd	nd	5	20
Nitrato	127	nd	8	nd	14	nd	216	nd	311	nd	10000
Nitrito	172	nd	26	nd	6	29	171	8	112	37	-
Prata	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50
Selênio	16	nd	nd	23	26	46	nd	nd	nd	27	10
Sódio	100950	44660	118710	48600	142610	95470	64690	69970	51340	73440	-
Sólidos Dissolvidos	860000	466000	840000	540000	1226000	2011000	1104000	1080000	614000	601000	-
Sulfato	410000	15000	580000	5000	207000	509000	462000	434000	112000	32000	-
Vanádio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Zinco	nd	nd	nd	nd	7	nd	6	nd	nd	5	1050

*Todos os valores em µg/L; nd: não detectado.

Fonte: SAPOTEC, 2010b.

Tabela 07 – Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 3 (conclusão).

Parâmetros	PM-13	PM-14	PM-15	PM-16	PM-A	PM-B	PM-C	PM-H	PM-I	Conama 420 Investigação
Alumínio	30	nd	20	230	40	620	80	30	nd	3500
Antimônio	3	nd	nd	9	22	3	6	20	nd	5
Arsênio	nd	nd	nd	nd	nd	11	nd	nd	8	10
Bário	300	110	170	110	220	60	270	50	90	700
Boro	160	150	70	300	110	20	160	110	190	500
Cádmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
Chumbo	6	nd	9	nd	5	nd	nd	10	nd	10
Cianeto Total	nd	nd	180	150	90	220	100	70	70	-
Cloreto	1080000	77000	1269000	264000	63000	2000	22000	10000	19000	-
Cobalto	59	2	47	4	5	nd	17	nd	3	70
Cobre	1	4	nd	nd	3	3	17	5	nd	2000
Cromo	10	nd	2	1	nd	nd	nd	nd	2	50
Cromo VI	nd	nd	nd	nd	6	nd	nd	nd	nd	-
Estanho	10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Fenol	nd	nd	1,7	1,3	nd	0,6	nd	nd	nd	140
Ferro	270	nd	140	140	nd	290	70	nd	510	2450
Fluoretos	3200	1000	400	600	nd	nd	nd	nd	nd	-
Lítio	70	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Manganês	4650	492	13697	323	1591	10	4100	1015	481	400
Mercúrio	nd	nd	nd	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	1
Molibdênio	nd	20	nd	10	nd	nd	nd	nd	nd	70
Níquel	70	6	7	nd	7	nd	nd	18	18	20
Nitrato	10	57	nd	nd	168	1157	857	6	nd	10000
Nitrito	nd	107	nd	nd	11	27	12	nd	nd	-
Prata	nd	nd	2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50
Selênio	18	nd	nd	nd	nd	16	48	nd	nd	10
Sódio	542040	68780	212880	99580	190340	32970	72340	49250	43300	-
Sólidos Dissolvidos	3400000	2262000	2200000	980000	784000	514000	517000	714000	473000	-
Sulfato	51000	1034000	408000	460000	107000	147000	56000	135000	86000	-
Vanádio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Zinco	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6	4	1050

*Todos os valores em µg/L; nd: não detectado.

Fonte: SAPOTEC, 2010b.

Terreno 4:

Os serviços ambientais prestados pela SAPOTEC iniciaram no ano de 2010 com a execução de uma Avaliação Ambiental (SAPOTEC, 2010a) para mapear os resíduos na área e subsidiar a elaboração do Projeto de Remoção dos Resíduos.

Os estudos apontaram que o aterramento do terreno foi realizado basicamente com RSU dispostos em uma camada de espessura de 2,2 m. A camada de cobertura dos resíduos era constituída de solo argiloso com espessura de 30 cm. O lençol freático da área foi detectado a profundidades entre 30 e 50 cm, com pH na faixa do neutro e condutividade entre 824 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1245 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

As medições de gás metano realizadas detectaram baixas concentrações, com valores bastante inferiores aos indicados para risco de explosividade, conforme apresentado na **Tabela 08**.

Tabela 08 – Medição de gás metano no Terreno 4 antes da remoção dos resíduos.

Poço	Metano	Limite Inferior de Explosividade
PG-01	350	50.000
PG-02	550	
PG-03	890	
PG-04	260	
PG-05	280	
PG-06	100	
PG-07	250	
PG-08	240	
PG-09	160	
PG-10	220	
PG-11	160	
PG-12	180	

*Todos os valores em ppm.

Fonte: SAPOTEC, 2010a.

Os resultados das análises químicas de solo não indicaram concentrações dos compostos VOC, BTEX, PAH, fenóis e inorgânicos acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009. Do grupo SVOC, o composto bis(2-etilhexil)ftalato apresentou concentração acima do estabelecido em um ponto.

As análises da água subterrânea não apresentaram concentrações de VOC, SVOC, BTEX, PAH e fenóis. Indicaram, porém, concentrações de alguns compostos inorgânicos

acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009, conforme resultados analíticos apresentados na **Tabela 09**.

Tabela 09 – Compostos inorgânicos na água subterrânea do Terreno 4.

Parâmetros	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	Conama 420 Investigação
Alumínio	20	20	20	30	20	20	3500
Antimônio	nd	3	nd	4	10	nd	5
Arsênio	nd	18	22	nd	nd	nd	10
Bário	90	100	220	140	140	110	700
Boro	150	270	160	220	230	120	500
Cádmio	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	5
Chumbo	nd	4	nd	7	nd	nd	10
Cianeto Total	120	110	130	nd	60	160	-
Cobalto	5	4	3	2	5	nd	70
Cobre	18	20	48	28	44	8	2000
Cromo	1	1	2	1	2	nd	50
Cromo VI	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	-
Estanho	10	Nd	10	nd	10	nd	-
Ferro	760	130	70	80	180	nd	2450
Fluoretos	nd	Nd	500	nd	nd	400	-
Lítio	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	-
Manganês	1513	1666	1247	1163	1286	29	400
Mercúrio	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	1
Molibdênio	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	70
Níquel	25	32	20	24	47	5	20
Nitrato	nd	Nd	76	10	nd	6	10000
Nitrito	nd	6	22	8	12	6	-
Prata	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	50
Selênio	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	10
Sódio	81730	88710	132860	116470	161230	69700	-
Sólidos Dissolvidos	576000	717000	977000	663000	704000	1191000	-
Sulfato	107000	141000	380000	135000	86000	573000	-
Vanádio	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	-
Zinco	33	89	42	64	40	15	1050

*Todos os valores em µg/L; nd: não detectado.

Fonte: SAPOTEC, 2010a.

A remoção dos RSU no Terreno 4 (**Figura 15**) foi realizada no ano de 2011, totalizando cerca de 25.000 toneladas de resíduos, que foram encaminhados para o Aterro Sanitário do município de Minas do Leão - RS. Os resíduos remanescentes no terreno estão localizados no perímetro do mesmo, não podendo ser removidos devido a restrições geotécnicas. A recomposição da área foi realizada com material inerte (areia e/ou calça) e uma camada de argila (SAPOTEC, 2012).

Figura 15 – Remoção dos resíduos no Terreno 4.



Fonte: SAPOTEC, 2012.

Após a remoção dos resíduos, ainda no ano de 2011, foi realizado novo diagnóstico ambiental do terreno (SAPOTEC, 2012) para definir, caso necessário, novas medidas para eliminação dos riscos à saúde humana.

Os resultados analíticos obtidos não indicaram quaisquer alterações na qualidade dos solos subjacentes aos RSU removidos, tão. Nas águas subterrâneas foram identificados acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009, em pelo menos um ponto, os metais Alumínio, Antimônio, Arsênio, Cobalto, Cromo, Chumbo, Ferro, Manganês, Níquel, Selênio e Zinco.

Terreno 5:

Os serviços ambientais prestados pela SAPOTEC iniciaram no ano de 2013 com a elaboração de um Plano de Remoção e Recomposição (SAPOTEC, 2013). Estudos

preliminares já haviam sido realizados pelas empresas Ambieθος, ST Serviços Técnicos e Projeconsult Engenharia Ltda.

Os estudos apontaram que o aterramento do terreno foi realizado basicamente com RSU dispostos em uma camada de espessura de aproximadamente 2 m. Foram identificados também em alguns pontos isolados resíduos de oficina mecânica e pneus. A camada de cobertura dos resíduos era constituída em parte do terreno de aterro de saibro e resíduos da construção civil em espessura de 1,5 m, e em outra parte do terreno por solo argiloso de espessura de 40 cm.

O monitoramento de gás metano realizado pela ST Serviços Técnicos identificou concentrações do gás de forma aleatória ao longo da área, em concentrações máximas de aproximadamente 2.500 ppm, bem abaixo do limite inferior de explosividade de 50.000 ppm.

A remoção dos RSU no Terreno 5 (**Figura 16**) teve início em setembro de 2013 e término em maio de 2014, totalizando 33.422 toneladas de resíduos que foram encaminhados para o Aterro Sanitário do município de Minas do Leão - RS. Os resíduos remanescentes no terreno estão localizados no perímetro do mesmo, não podendo ser removidos devido a restrições geotécnicas. A recomposição da área foi realizada com materiais inertes (material argiloso e/ou resíduos da construção civil) (SAPOTEC, 2013; SAPOTEC, 2014).

Figura 16 – Remoção dos resíduos no Terreno 5.



Fonte: Acervo pessoal.

7. DISCUSSÕES

Cabe destacar que as discussões e conclusões sobre o Aterro Benópolis que virão na sequência são baseadas unicamente na interpretação dos dados apresentados nos tópicos anteriores deste trabalho, não podendo ser consideradas absolutamente conclusivas, visto a complexidade da área em questão.

7.1. ANÁLISE GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

Com base nas descrições dos tipos de aterros, apresentadas no tópico 3.2.1 do Referencial Teórico, e nas informações contidas no tópico 4.2 da Área de Estudo, é possível classificar o Aterro Benópolis como um antigo aterro controlado. Esta classificação se dá devido às técnicas de engenharia empregadas no aterramento, entre elas a compactação e o recobrimento dos resíduos, e aos monitoramentos para acompanhamento da qualidade do aquífero livre.

A técnica de aterro controlado, apesar de mais adequada quando comparada a um lixão, é totalmente condenável nos dias atuais, pois não evita a contaminação dos solos e águas subterrâneas. Fato este comprovado à época de execução do aterro pelas análises realizadas na água subterrânea e que se mantém nos dias atuais, conforme análises químicas apresentadas no tópico 6.4.

Porém, na década de 70, que a disposição de resíduos no solo era realizada ainda sem nenhum tipo de controle, a execução do Aterro Benópolis se mostrou inovadora, recebendo destaque entre técnicos da área de todo país (TRINDADE; FIGUEIREDO, 1982). Ainda que se tivesse conhecimento sobre danos ambientais causados pela técnica, as questões ambientais possuíam importância secundária na época, fazendo com que outros critérios fossem utilizados para viabilizar a construção do aterro, que no caso do Aterro Benópolis pode-se destacar a futura ocupação de uma área “inútil” (banhado) próximo ao centro da capital, que ainda contribuiria por um tempo para a disposição dos RSU recolhidos no município.

O fato de o Aterro Benópolis ter sido realizado objetivando a elevação das cotas de um terreno para implantação de um parque residencial e industrial faz com que este possua

características peculiares em relação a aterros de resíduos convencionais. A principal delas é a espessura da camada de resíduos, que para os aterros convencionais é de no mínimo 10 a 15 m, enquanto que no Aterro Benópolis esta não ultrapassa os 3 m.

Outra questão é a existência do sistema viário e do parque, onde foi realizado aterramento convencional, fazendo com que não exista um aterramento contínuo com resíduos e sim em “células”, que neste caso são as quadras. Desta forma, a área total aterrada com resíduos não foi 100 ha e sim aproximadamente 60 ha. Considerando ainda as áreas onde foram removidos os resíduos, conforme apresentado no tópico 6.4, tem-se que a área atual com resíduos aterrados é de aproximadamente 50 ha.

7.2. AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS E LIXIVIADO

Segundo o modelo de decomposição da matéria orgânica em aterros de resíduos e a duração de cada uma das suas cinco fases, apresentadas no tópico 3.3 do Referencial Teórico, pode-se enquadrar o Aterro Benópolis, que teve sua conclusão a mais de 30 anos, entre o final da fase metanogênica e o início da fase de maturação, que pode começar aproximadamente 15 anos após a conclusão do aterro ou até mesmo 55 anos após sua conclusão.

Infere-se, porém, que o Aterro Benópolis se encontre na fase de maturação do modelo de decomposição da matéria orgânica, devido à existência de lençol freático pouco profundo, garantindo condições favoráveis de umidade do meio, que tornam mais eficientes os processos de degradação.

Tal suposição se sustenta através das análises de biogás realizadas nos Terrenos 1, 2 e 3, que não detectaram composição do biogás concordante com a fase metanogênica da Figura 01 e sim com a fase de maturação, com o reaparecimento dos gases oxigênio e nitrogênio.

Com relação ao lixiviado, que só é possível analisar através das características das águas do aquífero livre, somente se confirma que o aterro se encontra entre o final da fase metanogênica e o início da fase de maturação, pois a composição deste é a mesma nestas duas regiões, conforme pode ser observado na Figura 02. A composição do lixiviado nas regiões mencionadas se caracteriza por valores de pH na faixa do neutro e ausência de

compostos voláteis, concordantes com o apresentado no tópico 6.4. Para os parâmetros DQO, Ferro e Zinco não foi possível fazer esta analogia devido à falta de valores para comparação.

Cabe destacar que mesmo que não sejam inseridas altas concentrações de contaminantes na água subterrânea devido à baixa atividade do aterro, esta apresenta concentrações dos metais Alumínio, Antimônio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cromo, Ferro, Manganês, Molibdênio, Níquel, Selênio e Zinco acima dos valores estabelecidos pela CONAMA 420/2009 em pelo menos um ponto de todas as análises apresentadas. Estes metais provavelmente permanecerão estagnados no aquífero livre local devido às características físicas da área, que além de plana e mal drenada, se constitui de solo argiloso com característica de baixa permeabilidade.

A estagnação do aquífero livre local também poderia justificar os valores de condutividade, Manganês, Sódio e Sulfato encontrados nas análises químicas, que são típicos de aterros novos, conforme a Tabela 03, que apresenta as concentrações típicas de compostos presentes no lixiviado de aterros novos e consolidados. Os demais parâmetros que puderam ser comparados (Cádmio, Chumbo, Cloreto, Cromo, Ferro e Nitrato) se apresentaram concordantes, e por vezes abaixo, dos valores típicos encontrados em aterros consolidados.

7.3. ÁREAS PRIORITÁRIAS QUANTO AO RISCO À SAÚDE HUMANA

No gerenciamento de áreas contaminadas, segundo Art. 30 da Resolução CONAMA nº 420/2009, “os órgãos ambientais competentes devem planejar suas ações, observando, para a priorização, os seguintes aspectos: I - população potencialmente exposta; II - proteção dos recursos hídricos; e III - presença de áreas de interesse ambiental.”

Quando se refere à avaliação da saúde da população, o Manual de Vigilância Epidemiológica da Secretaria da Saúde do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2010) indica que deve ser dada atenção especial às populações ou grupos com maior sensibilidade aos contaminantes, cabendo destacar os grupos etários (ex: crianças e idosos) e o tipo de ocupação das populações nas áreas contaminadas.

Com base no exposto acima e nas informações levantadas sobre o Aterro Benópolis, definiram-se os grupos prioritários quanto ao risco à saúde, mais precisamente risco inerente a elevadas concentrações de metano, já que segundo informações legais não há poços de captação na área que gerem vias de exposição à água subterrânea contaminada.

Os grupos prioritários definidos são aqueles cuja magnitude da potencial exposição aos contaminantes é maior, que se caracterizam pela população residente sobre as áreas com resíduos, e aqueles que se apresentam mais sensíveis aos contaminantes devido à faixa etária, que no caso da área de estudo se caracterizam pelas crianças que frequentam as duas escolas de ensino fundamental existentes.

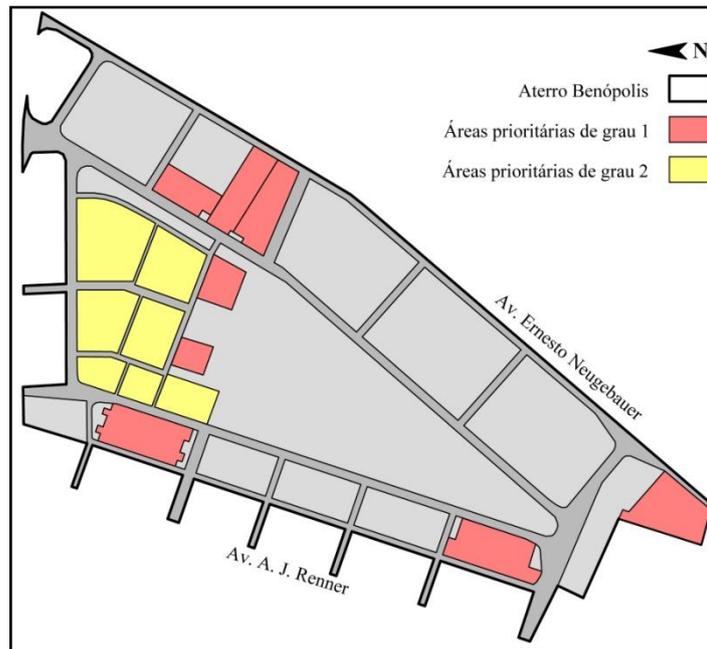
Sendo assim, têm-se como áreas prioritárias quanto à saúde da população:

- Áreas dos residenciais das Quadras 2, 6, 7, 11 e 16;
- Toda área das Quadras 13, 14 e 15; e
- Área das escolas da Quadra 16.

As áreas prioritárias podem ser divididas ainda em áreas prioritárias de grau 1 e 2, de acordo com a quantidade de informações existentes sobre elas. As áreas prioritárias de grau 1 se caracterizam por aquelas onde não há informações quanto aos procedimentos de ocupação e construção das edificações, como ocorre nas áreas dos residenciais das Quadras 2, 6, 7 e 11 e nas áreas das escolas da Quadra 16. As áreas prioritárias de grau 2 se caracterizam por aquelas que tiveram sua ocupação iniciada ainda no final da década de 70, logo após o aterramento das quadras com resíduos, pois destas se tem as informações contidas na publicação *Aterro Sanitário: Aspectos estruturais e ambientais* (1982), destacando-se a instalação dos drenos de gases junto às edificações, informação esta confirmada em entrevista, conforme descrito no tópico 6.1.

A **Figura 17** apresenta a distribuição das áreas prioritárias.

Figura 17 – Áreas prioritárias quanto ao risco à saúde humana.



Fonte: o Autor.

8. CONCLUSÕES

A partir da realização deste trabalho foi possível classificar o Aterro Benópolis como aterro controlado, de resíduos sólidos predominantemente urbanos e caracterizado como consolidado quanto à degradação da matéria orgânica. As áreas que possuem resíduos somam aproximadamente 50 ha, sendo 20 ha definidos como áreas prioritárias, que são aquelas que abrigam a população residente e as escolas de ensino fundamental.

Por se tratar de um aterro consolidado, este possui baixa geração de biogás e de lixiviado com alto potencial poluidor, devido à relativa inatividade dos microrganismos frente à escassez de nutrientes. A baixa atividade, porém, não altera o comprometimento da qualidade das águas do aquífero livre local, que apresentam concentrações de alguns metais acima dos valores de investigação estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 para águas subterrâneas, destacando-se aqueles que foram identificados nestas condições na grande maioria das análises químicas: Antimônio, Arsênio, Chumbo, Manganês e Selênio.

Quando observada sobre a ótica da avaliação de risco à saúde humana, a água do aquífero livre representa perigo à população existente na área, mas o risco somente se configura se houver vias de exposição que coloque os receptores em contato com a água contaminada.

Com relação ao biogás, as medições existentes apresentam composição característica de um aterro consolidado na fase de maturação, onde o ambiente do aterro passa a retomar as condições ambientais naturais, com o declínio da produção de metano e dióxido de carbono e aumento das concentrações de oxigênio e nitrogênio. Ainda, sugere-se pelas concentrações de metano apresentadas, que sua produção ao longo dos anos tenha se dissipado ou não tenha sido suficiente, frente à pequena espessura da camada de resíduos aterrados, para que concentrações do gás se acumulassem em valor próximo ao limite inferior de explosividade.

Sendo assim, pela interpretação dos dados existentes, conclui-se que se mantidas em toda área do aterro as mesmas condições ambientais observadas nas áreas avaliadas, não há risco à saúde humana pela geração de biogás, pois não há concentrações de metano suficientes para configurar tal.

8.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade ao trabalho e garantir a ausência de risco à saúde humana pelas águas contaminadas do aquífero livre e pela geração de biogás, recomenda-se como próximas ações:

- Verificação da existência de poços ilegais de captação da água subterrânea na área do aterro e entorno imediato;
- Nas áreas prioritárias de grau 1: realização de sondagens de reconhecimento e instalação de poços de monitoramento para a coleta de amostras da água do aquífero livre, a fim de verificar se esta apresenta o mesmo padrão de contaminação conhecido. Caso constatado nas sondagens o aterramento com RSU, proceder também com a instalação de poços de monitoramento de biogás e realização de medições dos gases;
- Nas áreas prioritárias de grau 2: identificação e verificação dos drenos de gases existentes, com posterior medição de biogás nos mesmos;
- Caso comprovado o comprometimento da qualidade das águas do aquífero livre pelas campanhas de amostragem de água sugeridas acima, o órgão ambiental competente deve tomar as medidas cabíveis, conforme preconizadas na Resolução CONAMA nº 420/2009, entre elas a aplicação de restrições de uso das águas do aquífero livre em toda área do aterro, conforme aplicado para os terrenos apresentados no tópico 6.4.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10.004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15.515-1**: Passivo ambiental em solo e água subterrânea: parte 1: avaliação preliminar. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15.849**: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

ABRANTES, A. C. L. S. **Problemas de consolidação na construção de aterros sobre solos moles**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

AREND, C. O.; OLIVEIRA, J. M.; ÁVILA, L. **Passivos Ambientais**. 2011. SENAI-RS, Centro Nacional de Tecnologias Limpas, p. 35. Disponível em: <http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/Passivos%20ambientais.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p. Inclui referências bibliográficas e índice. Projeto REENGE. ISBN: 85-85205-27-X.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substância químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil** nº 249, Brasília, DF, 30 dez. 2009, p. 81-84.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988. Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 28 jun. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Moção CNRH nº 38, de 07 de dezembro de 2006. Recomenda a adoção do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIAGAS pelos órgãos gestores e os usuários de informações hidrogeológicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 maio 2007. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2014.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 28 jun. 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 6 maio 2014.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 2. ed. São Paulo: Humanitas Editora/FFLCH/USP, 1998. ISBN: 85-86087-24-6.

CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo). **Aterro Sanitário**: definições. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Aterro%20Sanit%C3%A1rio/21-Aterro%20Sanit%C3%A1rio>>. Acesso em: 2 maio 2014.

CETESB/GTZ (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7->. Acesso em: 19 abr. 2014.

COSTA, T. C. **Pequena História da Limpeza Pública na Cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre: Departamento Municipal de Limpeza Urbana, 1983.

D'ALMEIDA, M. L. et al. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2 ed. São Paulo: CEMPRE, 2000.

ELIS, V. R.; ZUQUETTE, L. V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília DF, v. 32, n. 1, p. 119-134, 2002.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Comissão de Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FERREIRA, A. G. **Estudo dos Lixiviados das Frações do Aterro Sanitário de São Carlos – SP por Meio da Caracterização Físico-Química**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FILHO, L. F. B. **Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2005. 222 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FLECK, E. **Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2003. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FRITSCH, I. E. **Resíduos Sólidos e seus Aspectos Jurídicos, Legais e Jurisprudenciais**. Porto Alegre: UE/Secretaria Municipal da Cultura, 2000. 143 p.

GALDINO, C. A. B. et al. Passivo ambiental das organizações: uma abordagem teórica sobre avaliação de custos e danos ambientais no setor de exploração de petróleo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2002.

GOMES, L. P. (Coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360 p. Projeto PROSAB. ISBN: 978-85-7022-163-6.

HASENACK, H. et al. (Coord.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. **Comunicados do Ipea**, Brasília, DF, n. 145, 2012.

JOHANNESSEN, L. M. **Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal Solid Waste Landfills**. Washington: THE WORLD BANK, 1999. 25 p. Working Paper 4.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Hemus, 1995.

LOBO, F. **Metais Tóxicos e suas Consequências para a Saúde Humana**. 2011. EcoDebate: Cidadania & Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2011/08/01/metais-toxicos-e-suas-consequencias-para-a-saude-humana-artigo-de-frederico-lobo/>>. Acesso em: 19 jul. 2014.

MINISTÉRIO do Meio Ambiente. **Áreas Contaminadas**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas>. Acesso em: 22 abr. 2014.

MUNHOZ, J. A. Riscos de Toxicidade. **Apostila de Riscos de Toxicidade e de Explosividade**. Disponível em: <<http://www.saudeetrabalho.com.br/download/riscos-explosividade.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2014.

OBRA sobre aterro sanitário exige soluções pouco usuais. **Revista A Construção Região Sul**, São Paulo, n. 157, nov. 1981.

PINTO, M. S. **A coleta e disposição do lixo no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1979. 228 p.

PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre: Departamento Municipal de Limpeza Urbana, 2013. 1 v.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento Municipal de Limpeza Urbana. **Processo Administrativo nº 005.000098.77.9**. Porto Alegre, 1977.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.040679.07.1**. Porto Alegre, 2007a.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.040680.07.8**. Porto Alegre, 2007b.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.004177.08.8**. Porto Alegre, 2008.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.006323.11.1**. Porto Alegre, 2011.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.006161.13.8**. Porto Alegre, 2013.

SANTOS, C. B. **Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana – BA**. Dissertação (Mestre em Geoquímica e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Meio Ambiente da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Saúde. Centro de Vigilância Epidemiológica. **Manual de Vigilância Epidemiológica: Vigilância em Saúde Relacionada à População Exposta a Solo Contaminado**. São Paulo, 2010. 136 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Plano de Remoção e Recomposição – Projeto Barcelona – Quadra K**. Porto Alegre, 2013. 29 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Projeto de Remoção de Resíduos e Diagnóstico Ambiental dos Solos e Águas Subterrâneas – Caliandra Incorporadora Ltda – Quadra O.** Porto Alegre, 2009a. 30 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Projeto de Remoção de Resíduos e Diagnóstico Ambiental dos Solos e Águas Subterrâneas – Caliandra Incorporadora Ltda - Quadras L e M.** Porto Alegre, 2009b. 30 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Mensal – Período de Abril a Maio – Barcelona I e II – Quadra K.** Porto Alegre, 2014. 1 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Avaliação Ambiental Preliminar – Rossi – Quadra K.** Porto Alegre, 2010a. 42 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico de Atividades Realizadas na Quadra K – Prelude Empreendimentos S/A.** Porto Alegre, 2012. 42 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Diagnóstico Ambiental – Rossi – Quadra L.** Porto Alegre, 2010b. 48 p. 1 v.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Diagnóstico Ambiental – Rossi – Quadra M.** Porto Alegre, 2010c. 50 p. 1 v.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Diagnóstico Ambiental – Rossi – Quadra O.** Porto Alegre, 2010d. 49 p. 1 v.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico de Finalização das Atividades de Remoção dos Resíduos da Quadra M - Caliandra Incorporadora Ltda.** Porto Alegre, 2010e. 17 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico de Finalização das Atividades de Remoção dos Resíduos da Quadra L - Caliandra Incorporadora Ltda.** Porto Alegre, 2010f. 20 p.

SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Remoção de Resíduos Sólidos Urbanos da Quadra O - Caliandra Incorporadora Ltda.** Porto Alegre, 2010g. 15 p.

SEGALA, K. (Coord.). **Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

SIAGAS (Sistema de Informações de Água Subterrânea). Pesquisa Área. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_coordenada.php>. Acesso em: 20 maio 2014.

SILVA, R. F. G. **Gestão de Áreas Contaminadas e Conflitos Ambientais: O Caso da Cidade dos Meninos**. 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVERMAN, D. **Interpretação de dados qualitativos: métodos para análise de entrevistas, textos e interações**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 376 p. ISBN: 978-85-363-1697-0.

TERREZA, H.; WILLUMSEN, H. **Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization**. Washington: IDB, 2009. 64p. Technical Notes n° 108.

TOLAYMAT, T. et al. **Monitoring Approaches for Landfill Bioreactors**. Cincinnati: USEPA, 2004. 15 p. EPA/600/R-04/301.

TRINDADE, O. S.; FIGUEIREDO, M. A. R. **Aterro sanitário: aspectos estruturais e ambientais**. Porto Alegre: Pallotti, 1982.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund. **Human Health Evaluation Manual – Part A**. Washington, v. 1, Dec. 1989. EPA/540/1-89/002.

VEGTER, J. J.; LOWE, J.; KASAMAS, H. (edts). **Sustainable Management of Contaminated Land: An Overview**. 2002. Austrian Federal Environment Agency, 2002 on behalf of CLARINET.

VIANA, D. B. **Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: uma proposta metodológica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação em Engenharia em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

APÊNCIDE A – Registros fotográficos

Fotografia 1 – Residencial Croma (Quadra 1).



Fotografia 2 – Edificações comerciais e industriais da Quadra 1.



Fotografia 3 – Alqueires Residence (Quadra 2).



Fotografia 4 – Unidade SEST SENAT (Quadra 3).



Fotografia 5 – Edificações comerciais e industriais da Quadra 4.



Fotografia 6 – Residencial em construção na Quadra 5.



Fotografia 7 – Área em processo de remediação na Quadra 5.



Fotografia 8 – Edificações comerciais e industriais da Quadra 5.



Fotografia 9 – Garden Park Humaitá (Quadra 7).



Fotografia 10 – Edificações comerciais e industriais da Quadra 8.



Fotografia 11 – Depósito de solo e materiais inertes da Quadra 9.



Fotografia 12 – Placa indicando uso futuro da Quadra 10.



Fotografia 13 – Residencial Lá Spezia (Quadra 11).



Fotografia 14 – Residenciais das Quadras 13, 14 e 15.



Fotografia 15 – Escolas da Quadra 16.



Fotografia 16 – Praça Engenheiro Daniel Ribeiro.



Fotografia 17 – Parque Marechal Mascarenhas de Morais.

