

VI-089 - AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA NA ÁREA DO ANTIGO ATERRO BENÓPOLIS NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - RS

Alice da Costa Palagi⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Darci Barnech Campani

Assessor de Gestão Ambiental do Reitor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Paulo Robinson da Silva Samuel

Engenheiro atuando na área de Gestão Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Mário Totta, 416/4 - Tristeza - Porto Alegre - RS - CEP: 91920-130 - Brasil - Tel: +55 (51) 9222-6919 - e-mail: alicepalagi@gmail.com.

RESUMO

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. Destaca-se a importância da 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.

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 (BRASIL, 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.

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 1.

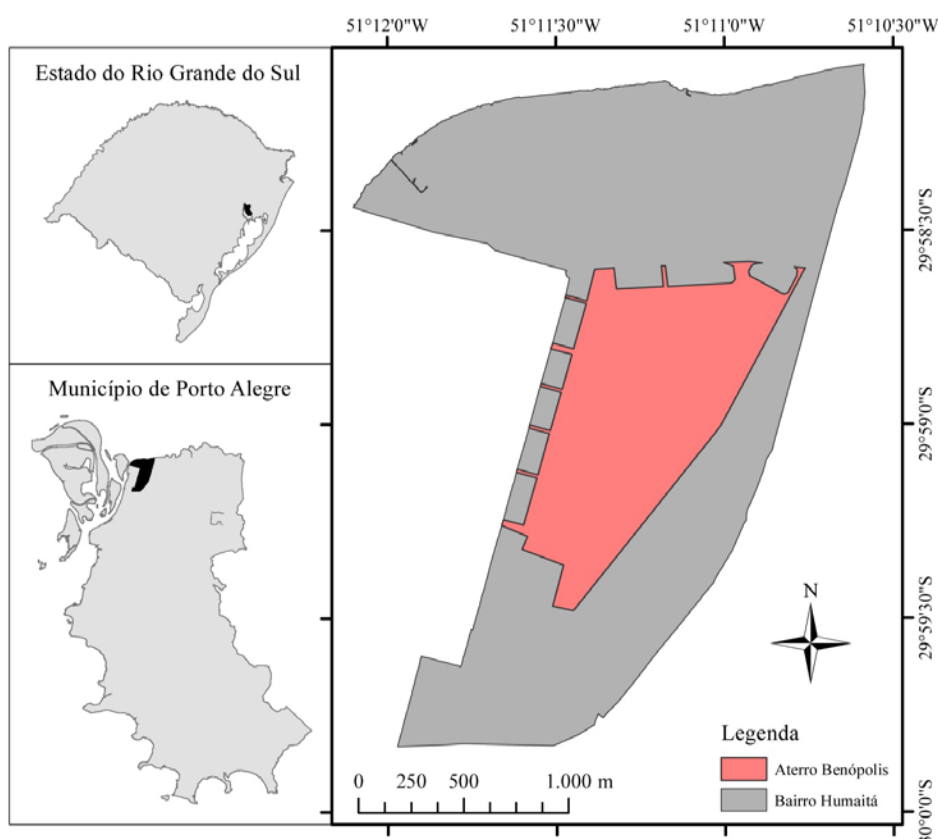


Figura 1: Localização do Aterro Benópolis.
(Fonte: o Autor)

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 (Figura 2).

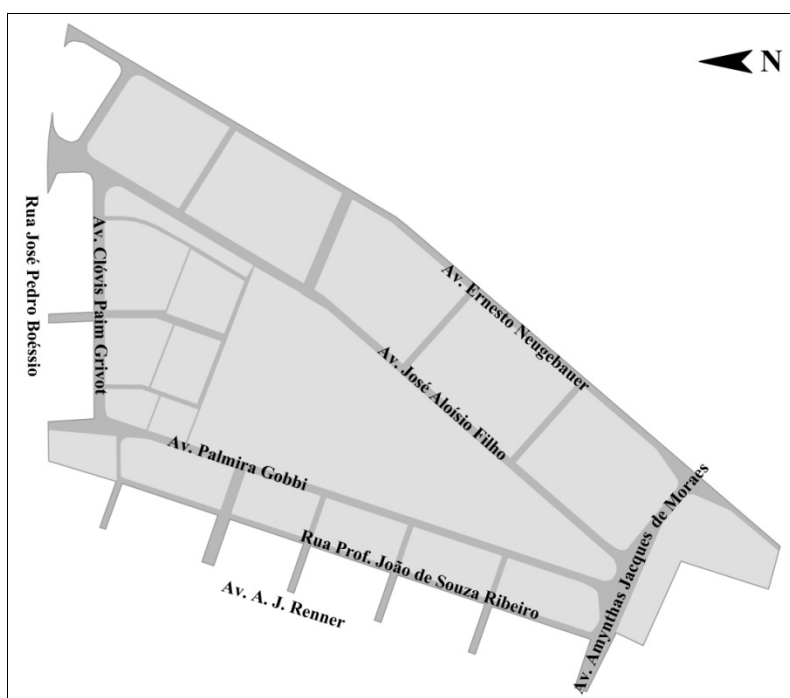


Figura 2: Sistema viário do Aterro Benópolis.
(Fonte: adaptado do Software Google Earth)

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 costumava ficar sujeita a inundações, que quando do início da construção do aterro já eram controladas pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). As inundações que ocorriam na região refletiam suas características naturais que são as cotas baixas, relevo plano e más condições de drenagem, abrigando assim solos sedimentares dos tipos Planossolos, Gleissolos, Plintossolos e Neossolos Flúvicos (Hasenack et al., 2008).

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 geológicos e geotécnicos 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 e; 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 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).

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, que são as quadras localizadas na porção centro/norte do aterro, junto a Av. Clóvis Paim Grivot (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.

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.

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).

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 Cádmiu 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.

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 NBR 15.515-1/2007 Versão Corrigida: 2011 (ABNT, 2011) 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.

RESULTADOS

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, 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.

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 3 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: 9,66% de área sem uso; 19,79% de área verde; 0,20% de casa de festas; 14,81% de área comercial/industrial; 0,19% de igreja; 4,21% de instituição de ensino; 29,43% de área residencial e; 21,71% de sistema viário.



Figura 3: Uso e ocupação do solo no Aterro Benópolis.
(Fonte: o Autor)

A consulta ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), realizada no dia 20 de maio de 2014 (SIAGAS, 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.

O 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 (BRASIL, 2007), que incentiva o uso do SIAGAS e a adoção do mesmo como base nacional compartilhada para a armazenagem, o manuseio, o intercâmbio e a difusão de informações sobre águas subterrâneas.

Na área do Aterro Benópolis não foi identificado nenhum poço cadastrado. Nos arredores, em um raio de aproximadamente 1500 m, foram identificados sete poços tubulares profundos. 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.

Por último, foram realizadas consultas aos trabalhos realizados pela empresa Sapotec Sul Soluções Ambientais (SAPOTEC), todos motivados por processos de licenciamento ambiental de terrenos para construção civil. Os processos administrativos podem ser acessados na Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) de Porto Alegre, sob os nºs 001.040679.07.1, 001.040680.07.0, 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 4 e as informações relevantes sobre cada um deles são descritas na sequência.

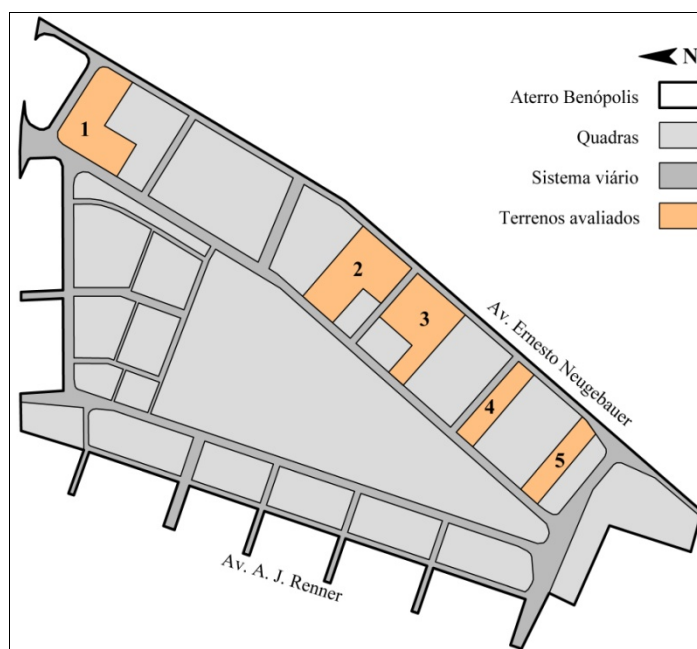


Figura 4: Terrenos avaliados pela empresa SAPOTEC.
(Fonte: o Autor)

• 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 (BRASIL, 2009).

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 e; 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 (BRASIL, 2009).

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 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).

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 (BRASIL, 2009), assim como as concentrações de alguns compostos inorgânicos.

- **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 (Limite Inferior de Explosividade: 50.000 ppm).

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 (BRASIL, 2009).

A remoção dos RSU no Terreno 4 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).

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. Nas águas subterrâneas foram identificados acima dos limites estabelecidos pela CONAMA 420/2009 (BRASIL, 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 Ambiothos, 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 5**) 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 5: Remoção dos resíduos do Terreno 5.

(Fonte: o Autor)

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 artigo, não podendo ser consideradas absolutamente conclusivas, visto a complexidade da área em questão.

Com base nas informações levantadas sobre a 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 realizadas pela empresa SAPOTEC.

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 anteriormente, tem-se que a área atual com resíduos aterrados é de aproximadamente 50 ha.

Quanto a geração de biogás e lixiviado, tem-se como base para análise os modelos de decomposição da matéria orgânica em aterros de resíduos (Figuras 6 e 7) e a duração de cada umas das suas cinco fases: Fase I – Adaptação: duração estimada de poucos dias a poucas semanas; Fase II – Transição: duração estimada de 1 mês a 1 ano; Fase III – Ácida: duração estimada de poucos meses a 2 anos; Fase IV – Metanogênica: duração estimada de 10 a 50 anos e; Fase V – Maturação (BIDONE; POVINELLI, 1999; ENSINAS, 2003; TERREZA; WILLUMSEN, 2009; TOLAYMAT et al., 2004).

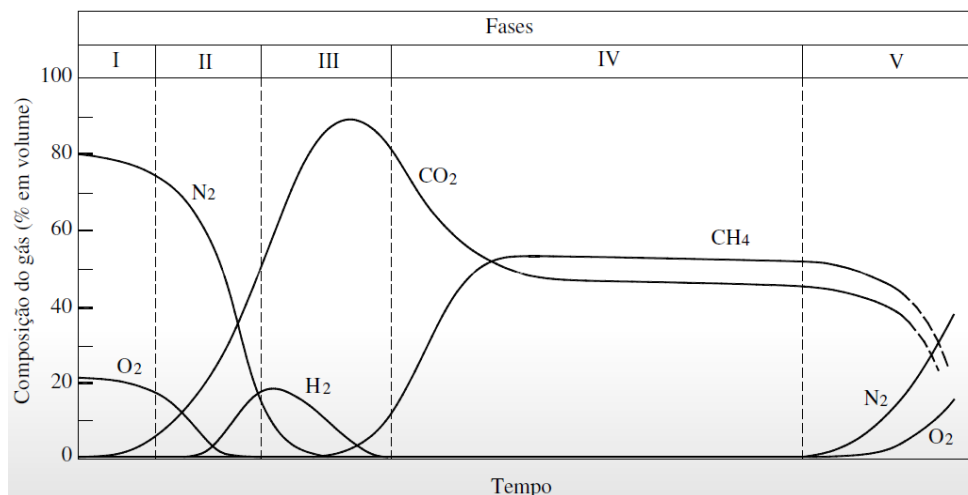


Figura 6: Distribuição percentual de gases em aterros de resíduos
(Fonte: Tchobanoglous et al., 1993 apud Ensinas, 2003).

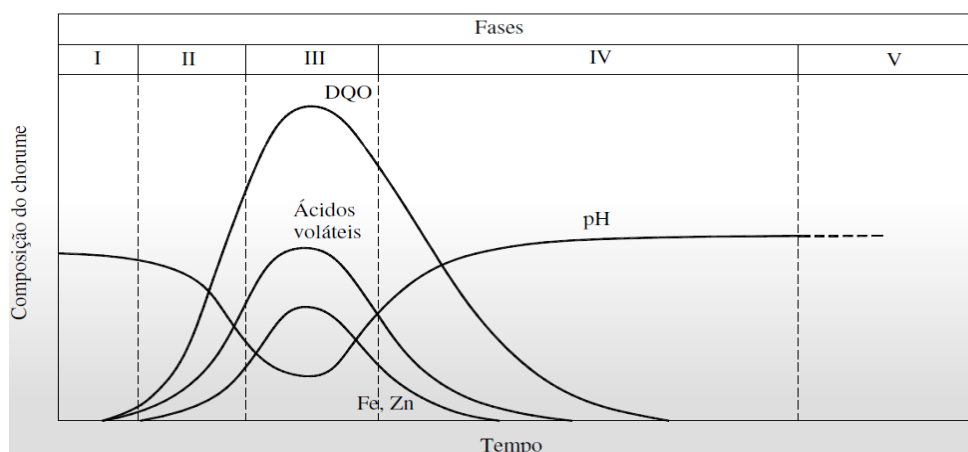


Figura 7: Variação das características do lixiviado de aterro de resíduos.
(Fonte: Tchobanoglous et al., 1993 apud Ensinas, 2003).

Desta forma, 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.

Infer-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 6 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 7. A composição do lixiviado nas regiões mencionadas se caracteriza por valores de pH na faixa do neutro e ausência de compostos voláteis, como visto no tópico anterior. 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 químicas mencionadas. 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.

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, utilizando-se a numeração das quadras apresentadas na Figura 3: áreas dos residenciais das Quadras 2, 6, 7, 11 e 16; toda área das Quadras 13, 14 e 15 e; a área das escolas da Quadra 16.

As áreas prioritárias podem ser divididas ainda em áreas prioritárias de grau 1 e 2 (Figura 8), 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 neste artigo.

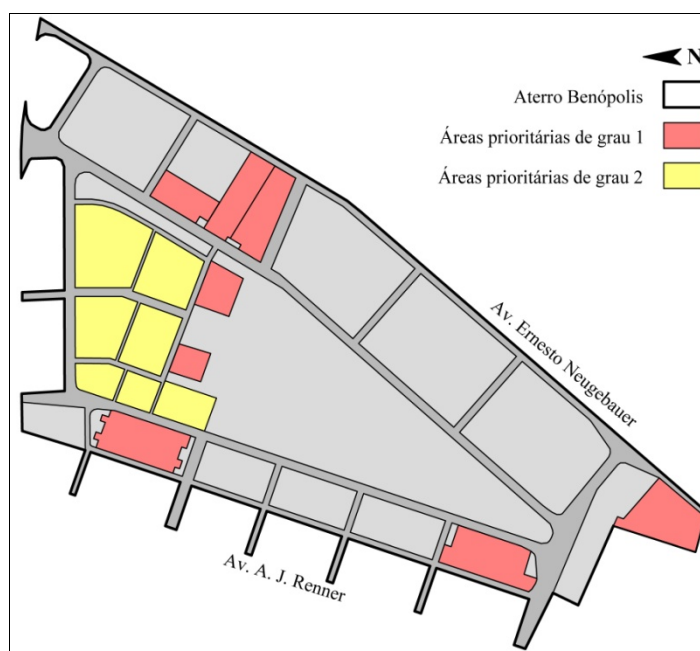


Figura 8: Áreas prioritárias quanto ao risco à saúde humana.

(Fonte: o Autor)

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 (BRASIL, 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 não há risco à saúde humana pela geração de biogás, pois não há concentrações de metano suficientes para configurar tal. Porém, cabe destacar a importância da continuidade dos trabalhos na área, de forma a garantir que são mantidas em toda área do Aterro Benópolis as mesmas condições ambientais observadas nas áreas avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15.515-1/2007 Versão Corrigida 2011:** Passivo ambiental em solo e água subterrânea: parte 1: avaliação preliminar. Rio de Janeiro, 2007.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. FRITSCH, I. E. **Resíduos Sólidos e seus Aspectos Jurídicos, Legais e Jurisprudenciais.** Porto Alegre: UE/Secretaria Municipal da Cultura, 2000. 143 p.
8. 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.
9. OBRA sobre aterro sanitário exige soluções pouco usuais. **Revista A Construção Região Sul**, São Paulo, n. 157, nov. 1981.
10. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento Municipal de Limpeza Urbana. **Processo Administrativo nº 005.000098.77.9.** Porto Alegre, 1977.
11. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.040679.07.1.** Porto Alegre, 2007a.
12. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.040680.07.0.** Porto Alegre, 2007b.
13. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.004177.08.8.** Porto Alegre, 2008.
14. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.006323.11.1.** Porto Alegre, 2011.
15. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Processo Administrativo nº 001.006161.13.8.** Porto Alegre, 2013.
16. 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).
17. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Plano de Remoção e Recomposição – Projeto Barcelona – Quadra K.** Porto Alegre, 2013. 29 p.
18. 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.
19. 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.
20. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Mensal – Período de Abril a Maio – Barcelona I e II – Quadra K.** Porto Alegre, 2014. 1 p.
21. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Avaliação Ambiental Preliminar – Rossi – Quadra K.** Porto Alegre, 2010a. 42 p.
22. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico de Atividades Realizadas na Quadra K – Prelude Empreendimentos S/A.** Porto Alegre, 2012. 42 p.

23. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Diagnóstico Ambiental – Rossi – Quadra L**. Porto Alegre, 2010b. 48 p. 1 v.
24. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Diagnóstico Ambiental – Rossi – Quadra M**. Porto Alegre, 2010c. 50 p. 1 v.
25. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Diagnóstico Ambiental – Rossi – Quadra O**. Porto Alegre, 2010d. 49 p. 1 v.
26. 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.
27. 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.
28. SAPOTEC (Sapotec Sul Soluções Ambientais). **Relatório Técnico Remoção de Resíduos Sólidos Urbanos da Quadra O - Caliandra Incorporadora Ltda**. Porto Alegre, 2010g. 15 p.
29. 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.
30. 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.
31. TERREZA, H.; WILLUMSEN, H. **Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization**. Washington: IDB, 2009. 64p. Technical Notes n° 108.
32. TOLAYMAT, T. et al. **Monitoring Approaches for Landfill Bioreactors**. Cincinnati: USEPA, 2004. 15 p. EPA/600/R-04/301.
33. TRINDADE, O. S.; FIGUEIREDO, M. A. R. **Aterro sanitário: aspectos estruturais e ambientais**. Porto Alegre: Pallotti, 1982.