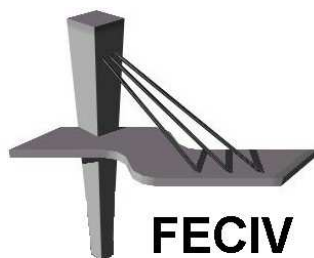


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PROPOSTA DE MANUAL TÉCNICO DE MEDIDAS
PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA ATERROS
SANITÁRIOS ENCERRADOS**

ANNE KAROLINE ALVES

UBERLÂNDIA, Setembro/2010



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Anne Karoline Alves

**PROPOSTA DE MANUAL TÉCNICO DE MEDIDAS
PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA ATERROS
SANITÁRIOS ENCERRADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

Uberlândia, Setembro/2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU , MG, Brasil

A474p Alves, Anne Karoline, 1986-
 Proposta de manual técnico de medidas preventivas e corretivas para aterros sanitários encerrados [manuscrito] / Anne Karoline Alves. - 2010.
 208 f. : il.

Orientador: Luiz Nishiyama.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Resíduos industriais - Teses. 2. Aterro sanitário - Teses. I. Nishiyama, Luiz. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 628.54



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 072/2010

CANDIDATA: Anne Karoline Alves

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

TÍTULO: "Proposta de manual técnico de medidas preventivas e corretivas para aterros sanitários encerrados"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infraestrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 23 de setembro de 2010

LOCAL: Sala de Reuniões da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 12:30 - 15:00hs.

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

☒ APROVADA

☐ REPROVADA

OBS: Cumprir os prazos do programa para inserir as conexões
sugeridas pela banca

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. Luiz Nishiyama – IGUFU/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Cícero Antonio Antunes Catapreta – SLU/BH**

Membro: **Prof. Dr. Joaquim Mario Caleiro Acerbi – FECIV/UFU**

Uberlândia, 23 de setembro de 2010.

Ao meu esposo Thiago, pelo amor e apoio incondicionais em todos os momentos da minha vida.

Nenhuma atividade no bem é insignificante...as mais altas árvores são oriundas de minúsculas sementes.

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu esposo Thiago, quem mais acreditou, apoiou e participou para que eu alcançasse meu objetivo.

À minha filha Ana Clara, a razão da minha persistência.

À minha mãe, por acreditar e me apoiar em todo esse período.

A todos da minha família que de alguma forma participaram dessa conquista.

Aos meus amigos, pelos momentos de alegria e descontração e por me apoiarem sempre.

Ao meu orientador, Luiz Nishiyama, pelas idéias no desenvolvimento da dissertação.

ALVES, A. K. **Proposta de Manual Técnico de Medidas Preventivas e Corretivas para Aterros Sanitários Encerrados**. 210 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

RESUMO

A correta gestão dos resíduos sólidos tem sido um desafio para a maioria dos municípios brasileiros, que devem dispor os resíduos de maneira ambientalmente correta, buscando atender às exigências legais. Os aterros sanitários são a forma mais adequada para disposição de resíduos sólidos urbanos, evitando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, solo e ar, além de impedir a proliferação de vetores de doenças. Apesar de existirem muitos trabalhos a respeito do monitoramento de aterros sanitários em operação, não se observa na mesma proporção, no Brasil, trabalhos que abordem os temas referentes ao encerramento e pós-encerramento de aterros sanitários e sabe-se que, mesmo após sua desativação, a degradação dos resíduos continua gerando líquidos percolados e biogases contaminantes, além de movimentos de diferentes naturezas no maciço dos aterros, o que torna necessário o acompanhamento dessa área até que todo o resíduo esteja estabilizado. Foram levantados os principais problemas correntes em aterros sanitários encerrados e, a partir disso, foi elaborado um “**Manual Técnico de Medidas Preventivas e Corretivas para Aterros Sanitários Encerrados**”. Na dissertação são apresentados cinco programas de ações relativas a aterros sanitários: Programa de Adequação Ambiental, Programa de Monitoramento Ambiental e Geotécnico, Programa de Educação Ambiental, Programa de Segurança e Programa de Treinamento de Pessoal. Com isso pretende-se ainda levantar mais discussões sobre o assunto, além de chamar atenção para os perigos envolvidos com a má gestão dos aterros após o seu encerramento.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos, Aterro Sanitário, Encerramento, Monitoramento.

ALVES, A. K. **Proposal for a Technical Manual for Preventive and Corretive Measures for Closed Landfills**. 210 p. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2010.

ABSTRACT

The correct solid waste management has been a challenge to most cities in Brazil that have to dispose of this waste in an environmentally correct way, trying to comply with legal demandings. The landfills are the most adequate way to dispose of urban solid waste, avoiding contamination of ground and underground water, soil and air, besides preventing disease vector proliferation. Even though there are many studies over landfill monitoring in operation, there is not in the same proportion in Brazil studies over the closure and post-closure of landfills and it is known that even after their deactivation, the waste degradation continues generating percolate liquids and cotaminating biogases, besides the movements of different nature over the landfill, which makes it necessary the follow up of this area until the waste is stabilized. The major current problems in finished sanitary landfills were listed, and from this point, the “**Technical Manual on Preventive and Corretive Measures for Landfill Closed**”. In this dissertation, five action programs concerning sanitary landfills were presented: Environmental Adequation Program, Environmental and Geotechnical Monitoring Program, Environmental Education Program, Safety Program, and Personal Training Program. With this the intention is to raise more discussions over this issue and moreover, to draw the attention to the dangers concerning the bad management of landfills after their closure.

Key Words: Solid Waste, Sanitary Landfills, Closure, Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Distribuição do volume diário de resíduos sólidos doméstico e público em função da adequação da destinação final no Brasil.....	17
Figura 02: Destinação final dos RSU Coletados no Brasil em 2009 e 2008.....	18
Figura 03: Lixão do Município de Caldazinha – GO	26
Figura 04: Aterro Controlado do município de Resende – RJ	27
Figura 05: Esquema ilustrativo de um aterro sanitário em operação	29
Figura 06: Esquema ilustrativo para recobrimento final de aterro sanitário	33
Figura 07: Etapas de funcionamento em aterro sanitário na Alemanha	42
Figura 08: Composição da cobertura final do Aterro Sanitário de Bruchsal no sul da Alemanha	42
Figura 09: Composição da cobertura final do Aterro Sanitário de Sprendlingen, no sudoeste da Alemanha	43
Figura 10: Vista geral do Aterro Sanitário de Belo Horizonte	51
Figura 11: Usina de reciclagem de resíduos de construção civil implantada no aterro sanitário de Belo Horizonte	52
Figura 12: Pátio de compostagem dos resíduos orgânicos implantado no aterro sanitário de Belo Horizonte	53
Figura 13: Galpão para recebimento de pneus implantado no aterro sanitário de Belo Horizonte	53
Figura 14: Área inicial de deposição de resíduos, hoje um campo de futebol implantado no aterro sanitário de Belo Horizonte	55
Figura 15: Área inicial de deposição de resíduos no aterro sanitário de Belo Horizonte, hoje revegetada	55
Figura 16: Crianças brincando na área do aterro sanitário de Belo Horizonte	56
Figura 17: Poço de monitoramento de águas subterrâneas no aterro sanitário de Belo Horizonte	57
Figura 18: Estação de monitoramento do ar no aterro sanitário de Belo Horizonte	58
Figura 19: Canaleta de drenagem pluvial na área monitorada no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP	60
Figura 20: Queimador de biogás na área monitorada no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP	60
Figura 21: Horta hidropônica utilizada pela comunidade local, aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP	61
Figura 22: Área de lazer infantil, aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP	61
Figura 23: Detalhe da boa conservação do talude na área monitorada, área de lazer no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP	62
Figura 24: Pista de caminhada, no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP	62
Figura 25: Cerca que divide o aterro Parque Santa Bárbara em Campinas - SP, na frente a área que está em recuperação ambiental e, ao fundo, a área onde não é realizado o mesmo monitoramento	63
Figura 26: Empoçamento de água pluvial e falhas na cobertura vegetal, no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas – SP	64
Figura 27: Obstrução da canaleta de drenagem de águas pluviais como consequência do crescimento da vegetação, aterro Parque Santa Bárbara em Campinas – SP	64

Figura 28: Irregularidade na conformação do terreno e falhas na cobertura vegetal, aterro Parque Santa Bárbara em Campinas – SP	65
Figura 29: Placa de aviso de entrada proibida na área não monitorada, aterro Parque Santa Bárbara em Campinas – SP	65
Figura 30: Vista geral do Aterro Bandeirantes.....	66
Figura 31: Funcionário realizando a manutenção da cobertura vegetal no aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	67
Figura 32: Piezômetros utilizados para medição de pressões dos fluidos, no aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	68
Figura 33: Dreno vertical de biogás, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP.....	68
Figura 34: Marco superficial, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	69
Figura 35: Dreno para sucção de biogás, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	69
Figura 36: Detalhe da cobertura vegetal predominantemente gramínea, mas com algumas espécies arbóreas à esquerda da foto, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	70
Figura 37: Área de recebimento de resíduos encerrada e já reflorestada, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	71
Figura 38: Cobertura com manta de PEAD nas áreas de captação de biogás, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	71
Figura 39: Estação elevatória de chorume, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	73
Figura 40: Lagoa de armazenamento de chorume, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP..	73
Figura 41: Sede da empresa BIOGAS dentro do aterro Bandeirantes	74
Figura 42: Motores responsáveis pela produção de energia proveniente do biogás, empresa BIOGAS, aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	75
Figura 43: Bairros circundantes ao aterro, a proximidade ocasiona problemas de invasões e violência no aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	76
Figura 44: Moradores caminhando pela área do aterro Bandeirantes, São Paulo – SP	76
Figura 45: Canaleta de drenagem de águas pluviais no aterro sanitário de Uberlândia	78
Figura 46: Poço de monitoramento de águas subterrâneas a montante, aterro sanitário de Uberlândia	78
Figura 47: Poço de monitoramento de água subterrânea a jusante, aterro sanitário de Uberlândia	79
Figura 48: Viveiro de mudas no aterro sanitário de Uberlândia	80
Figura 49: Cobertura vegetal composta por gramíneas e poucas espécies arbóreas, aterro sanitário de Uberlândia	81
Figura 50: Esquema ilustrativo da inclinação adequada no aterro sanitário	87
Figura 51: Construção de drenos para coleta de água de percolação	89
Figura 52: Aterramento da cava com resíduo de construção civil	89
Figura 53: Reconstituição da camada orgânica de solo	90
Figura 54: Vegetação implantada sobre a área aterrada com resíduos da construção civil	90
Figura 55: Esquema relacionando causas e conseqüências de recalques no aterro	93
Figura 56: Detalhe de uma área de recalque com aporte de solo para o interior do resíduo	94
Figura 57: Fendas de tração desenvolvidas no solo de cobertura por ação de ressecamento	94
Figura 58: Formação de depressão na parte superior do aterro seguido de fissuramento da camada de solo e percolação excessiva de águas pluviais	95
Figura 59: Desenvolvimento de feição erosiva na porção de talude e na via de circulação	96

Figura 60: Processo erosivo em desenvolvimento em local com falha na cobertura vegetal	97
Figura 61: Poços medidores do nível de percolados	99
Figura 62: Desenvolvimento de fendas de tração na porção superior do aterro por onde a água pluvial irá percolar para o interior do maciço	110
Figura 63: Desenvolvimento de fendas de tração associado a movimentos gravitativos em uma porção do talude do aterro sanitário	110
Figura 64: Exsudação de líquidos percolados no talude do aterro	112
Figura 65: Percolação de água da chuva através do topo do aterro e conseqüente elevação do nível de percolados no interior do maciço	112
Figura 66: Ruptura de canaleta para drenagem da água pluvial e desenvolvimento de uma feição erosiva na bancada e no talude do aterro	114
Figura 67: Fluxograma do programa de inspeções periódicas, tomada de decisões e ações emergenciais	115
Figura 68: Exemplo de cerca tipo alambrado	129

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 01: Situação Atual dos Resíduos no Mundo.....	24
Tabela 01: Geração Anual (milhões de t/ano) e principais formas de gerenciamento de resíduos em países desenvolvidos no início da década de 2000.....	30
Quadro 02: Leguminosas adaptadas a diferentes condições climáticas e do solo	36
Quadro 03: Quadro resumo da rotina de inspeções, medidas corretivas e ações emergenciais	116

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

CH₄ - metano
H₂S - gás sulfídrico
N - nitrogênio

ABREVIATURAS

CTRS - Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
PEAD - Polietileno de Alta Densidade
pH – Potencial Hidrogeniônico
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública Resíduos Especiais
CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPAB - Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEMA - Fundação Estadual do Meio Ambiente do Mato Grosso
FEPAM/RS - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
IAP - Instituto Ambiental do Paraná
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNSB – Pesquisa Nacional Saneamento Básico
SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria
USEPA- *United States Environmental Protection Agency*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 - DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	22
2.2 - DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	25
2.3 – ATERROS SANITÁRIOS.....	27
2.3.1 - Encerramento de Aterros Sanitários.....	31
2.3.2 - Nova Concepção de Aterro Sanitário	44
2.3.3 – Utilização Futura de Áreas de Disposição de Resíduos: Possibilidades e Riscos	45
METODOLOGIA	48
3.1- VISITAS DE CAMPO - A REALIDADE DOS ATERROS SANITÁRIOS JÁ ENCERRADOS.....	51
3.1.1 - Aterro Sanitário de Belo Horizonte.....	51
3.1.2- Aterro Sanitário Parque Santa Bárbara – Campinas - SP.....	59
3.1.3- Aterro Sanitário Bandeirantes – São Paulo – SP.....	66
3.1.4 - Aterro Sanitário de Uberlândia – Uberlândia – MG	77
3.2 – PROPOSTAS PARA UM MANUAL TÉCNICO DE MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA ATERROS SANITÁRIOS ENCERRADOS	82
RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
4.1 - PROGRAMA DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL	86
4.2 - PROGRAMA DE INSPEÇÃO, MONITORAMENTO E AÇÕES EMERGENCIAIS	92
4.2.1 - Inspeção de Recalque no Aterro.....	92
4.2.2 - Inspeção de Fissuramento da Cobertura Final do Aterro	93
4.2.3 - Inspeção de Feições Erosivas.....	94
4.2.4 - Monitoramento da Qualidade das Águas: Superficial e Subterrânea	96
4.2.5 - Monitoramento da Cobertura Vegetal Implantada	97
4.2.6 - Monitoramento da Fauna	97
4.2.7 - Monitoramento de Emissões Atmosféricas	98
4.2.8 - Monitoramento de Líquidos Percolados.....	98
4.2.9 - Formalização da Inspeção e Monitoramento.....	99
4.2.10 - Procedimentos e Instrumentação para Inspeções	107
4.2.11 - Ações Emergenciais	109
4.2.12 - Tomada de Decisão	114
4.3 - PROGRAMA DE TREINAMENTO DE PESSOAL.....	124
4.4 - PROGRAMA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL.....	127
4.5 - PROGRAMA DE SEGURANÇA.....	129
CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
APÊNDICE A	138
QUESTIONÁRIO	138
APÊNDICE B	144
QUESTIONÁRIO RESPONDIDO: ATERRO SANITÁRIO SÍTIO SÃO JOÃO – SÃO PAULO/SP.....	144
APÊNDICE C	151
MANUAL TÉCNICO DE MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS PARA ATERROS SANITÁRIOS ENCERRADOS	151
ANEXO A	209
VALORES ORIENTADORES PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB.....	209

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aumento dos aglomerados urbanos e consequentemente aumento do consumo colocam a população mundial frente a um problema global: o que fazer dos resíduos gerados? O consumo cada vez maior de produtos alimentícios, industriais, tecnológicos e outros, tem aumentado substancialmente a quantidade de resíduos produzidos, ou seja, aqueles produtos que acredita-se não possuírem mais utilidade para o homem. É nesse momento que surgem os questionamentos: qual seria a destinação correta a ser dada para a enorme quantidade de resíduos gerada atualmente?

No capítulo 21 da Agenda 21, é discutida a problemática dos resíduos sólidos:

O manejo ambientalmente saudável de resíduos deve ir além da simples deposição ou aproveitamento por métodos seguros dos resíduos gerados e buscar desenvolver a causa fundamental do problema, procurando mudar os padrões não-sustentáveis de produção e consumo." (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992)

A gestão correta dos resíduos não tem recebido a atenção necessária dos órgãos competentes, comprometendo assim a saúde da população e, ainda, a qualidade ambiental dos recursos naturais, especialmente o solo e a água. O que se percebe é a preocupação das administrações municipais em apenas afastar dos núcleos urbanos os resíduos coletados, dispondo-os em condições inadequadas como em lixões a céu aberto, muitas vezes em córregos ou outros ambientes degradados que deveriam estar protegidos por legislação ambiental. Surge assim mais um problema relacionado à má gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU): a presença de catadores, muitas vezes crianças, denunciando um grave problema social que acompanha a destinação incorreta dos RSU.

Ao observar os dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2003, pesquisa organizada pela ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública Resíduos Especiais) e a mesma pesquisa realizada em 2008 é possível perceber que em cinco anos houve certa evolução no sentido de maior adequação no processo de destinação

final dos resíduos sólidos no Brasil, em 2003, 40,49% dos resíduos sólidos domésticos no Brasil eram destinados de maneira adequada (aterros sanitários) e 59,51% ainda eram dispostos de maneira inadequada (aterro controlado e/ou lixão), como mostra o gráfico da Figura 01:

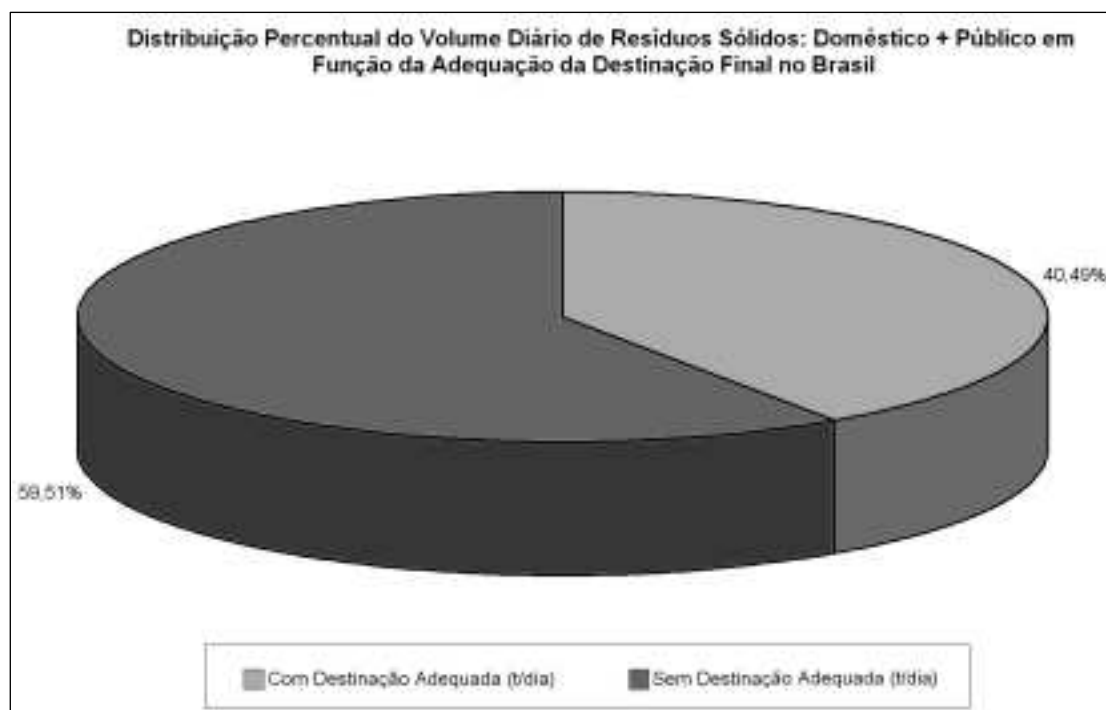


Figura 01: Distribuição do volume diário de resíduos sólidos doméstico e público em função da adequação da destinação final no Brasil.

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, Abrelpe, 2003.

Em 2008, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil mostra que mais da metade dos RSU coletados no ano, aproximadamente 55%, receberam destinação adequada, fato registrado pela primeira vez no Brasil. O restante, aproximadamente 45%, mais de 67 mil toneladas diárias de RSU tiveram destinação inadequada. Já em 2009, a mesma pesquisa mostra que houve novamente uma pequena mudança, com o aumento da quantidade de resíduos destinados de maneira adequada, como mostra a Figura 02.

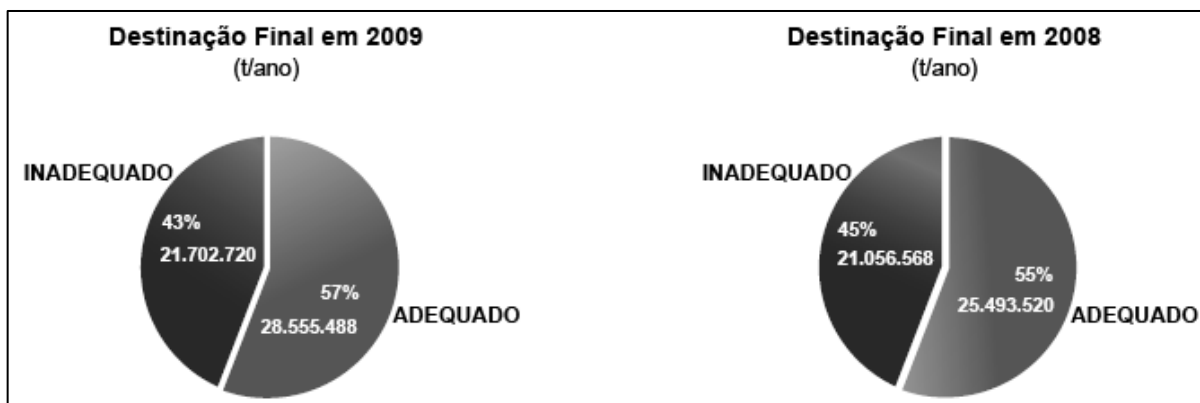


Figura 02: Destinação final dos RSU Coletados no Brasil em 2009 e 2008.

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, Abrelpe, 2009.

Essa evolução deve-se, entre outros motivos, à necessidade dos municípios cumprirem as exigências legais, como a Lei 6.938/81, Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 001/86 e 237/97, as Deliberações Normativas do COPAM 52/2001 e 105/2006, todas referentes à adequação ambiental.

Nesse contexto, os aterros sanitários aparecem como excelente forma de disposição dos resíduos sólidos urbanos, pois, quando corretamente operados, oferecem condições ambientalmente adequadas, evitando a exposição dos resíduos e, conseqüentemente, o contato indevido dos catadores, a poluição das águas superficiais e subterrâneas, solo e ar. Apesar das inúmeras vantagens, a implantação de um aterro sanitário exige uma grande área, que possa garantir a disposição dos resíduos por, no mínimo, uma década. Nem sempre os municípios dispõem de áreas que possam ser usadas para esta finalidade. Esse fato justifica a grande importância de se trabalhar para o prolongamento da vida útil dos aterros sanitários.

Após o encerramento das operações de um aterro sanitário, o processo de decomposição dos resíduos pode se estender por algumas décadas. Assim, a produção de biogases e de líquidos percolados não é interrompida com o final de aporte de resíduos ao aterro. Paralelamente, a decomposição contínua dos resíduos, especialmente a sua parte orgânica, a qual corresponde a pouco mais de 50% do total disposto, leva à redução de volume do aterro como um todo e, conseqüentemente à movimentos de recalque. Alterações na conformação da superfície incidem tanto nos taludes quanto na porção de topo e, desse modo, passam a se manifestar sob a forma de depressões e rupturas que afetam o maciço sanitário e a camada de cobertura final.

Alterações na configuração da superfície modificam a drenagem de águas pluviais, as quais passam a acumular nas depressões e seguir por caminhos preferenciais oferecidos pelas fissuras na camada de cobertura final, aumentando o volume de percolados.

A ausência de inspeção periódica e de medidas reparadoras de problemas decorrentes de eventos diversos pode resultar em sérios problemas de estabilidade do maciço de resíduos, culminando com movimentos de massa junto aos taludes (deslizamento de resíduos e solo), erosão, vazamento de percolados e de biogases, dentre outros.

Em vista disso, é fundamental adotar medidas que envolvam a inspeção periódica, identificação e documentação dos eventos e dos problemas, definição e implementação de medidas reparadoras. A não observância dos eventos e dos problemas por eles gerados pode resultar em acidentes envolvendo o meio ambiente por meio de contaminação solo, água e ar e, a sociedade como um todo, mediante os danos à saúde de pessoas, perdas materiais e inviabilização dos usos de recursos naturais.

No atual estágio de avanço no campo ambiental no Estado de Minas Gerais, especificamente tratando-se de aterros sanitários, municípios de pequeno porte com mais de 30.000 habitantes, foram convocados pelo Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM em proceder ao licenciamento ambiental de sistemas tecnicamente adequados a tratamentos ou disposição de resíduos sólidos urbanos, com o objetivo de reduzir a poluição do solo, das águas e melhorar a qualidade de vida da população, de acordo com as Deliberações Normativas 52/2001, 75/2006 e 105/2006.

Vale salientar que vários aterros sanitários já atingiram o seu limite de vida útil no Brasil, como é caso dos aterros sanitários Vila Albertina, Parque Santa Bárbara e Bandeirantes em São Paulo e o de Belo Horizonte, em Minas Gerais. Outros tantos estão muito próximos do limite de sua capacidade. No caso do Aterro Vila Albertina e Parque Santa Bárbara já estão desativados há mais de 15 anos.

Apesar de se ter atingido, já há algum tempo, a fase de desativação de aterros sanitários, pouco se tem produzido em termos de elaboração de uma diretriz para o pós-encerramento. Como acontece em muitos casos, após o encerramento das atividades de disposição de resíduos num aterro sanitário, não se dispensa os mesmos cuidados tomados quando em fase de operação. Em um aterro com a disposição encerrada a degradação dos resíduos continua por algumas décadas até a sua completa estabilização, com produção de biogases

e líquidos percolados. Assim sendo, as atenções devem se estender a completa degradação dos resíduos ali depositados.

Desse modo, apresenta-se no presente trabalho de dissertação de mestrado uma proposta de ações voltadas para o pós-encerramento das atividades de disposição, contemplando desde o fechamento do aterro para disposições até a completa extinção dos riscos ao meio ambiente e à saúde humana, na forma de um **Manual Técnico de Medidas Preventivas e Corretivas para Aterros Sanitários Encerrados**.

Os objetivos dessa dissertação são:

- Identificar aspectos fundamentais após o encerramento das atividades de disposição de resíduos sólidos, a serem inspecionados e monitorados via instrumentação, periodicamente;
- Adotar uma metodologia adequada que contemple a inspeção periódica e ações emergenciais após o encerramento das operações do aterro;
- Elaborar uma proposta de monitoramento, com base na metodologia adotada, de monitoramento via inspeções periódicas e ações emergenciais.
- Apresentar um manual técnico que possa fornecer subsídios para as prefeituras de municípios e/ou empresas concessionárias de aterros sanitários, sendo estes os responsáveis pela operação do empreendimento, com vistas a continuidade de um monitoramento eficaz após o encerramento do aterro;
- Sugerir que as propostas contidas no manual possam servir também, aos órgãos ambientais interessados em dispor um documento normatizador ou fiscalizador das ações de monitoramento de aterros sanitários pós-encerramento.
- Apresentar fichas de inspeções que abordem as principais anomalias correntes em aterros sanitários, para a realização de vistorias nestes empreendimentos após seu encerramento.

Primeiramente, procurou-se levantar um maior número de bibliografias relativas a assuntos que abordassem problemas de estabilidade, erosão, recalques, rupturas de taludes, geração e monitoramento líquidos percolados, biogases, encerramento e monitoramento de aterros sanitários.

Entretanto, para desenvolvimento dos estudos fez-se necessário conhecer a realidade de alguns aterros sanitários em operação, com o objetivo de levantar e caracterizar os principais problemas verificados nessa fase. Também conhecer, a partir de visitas, alguns aterros já desativados e, junto a estes, identificar os problemas apresentados.

Este trabalho é constituído de 5 capítulos, 3 apêndices e 1 anexo organizados da seguinte maneira:

O Capítulo 1 é a introdução que traz um levantamento geral sobre a situação dos resíduos sólidos urbanos hoje, especialmente no Brasil sob a forma de alguns dados quantitativos. A introdução inicia também o assunto aterros sanitários, e traz a justificativa e objetivos da dissertação. O Capítulo 2 é o da Revisão Bibliográfica, nele são abordados os temas mais relacionados com a proposta da dissertação, especialmente encerramento de aterros sanitários, os principais autores que trabalham com o tema são apresentados neste capítulo e ainda alguns exemplos internacionais. O Capítulo 3 traz a Metodologia e o Capítulo 4 os Resultados e Discussões alcançados, no Capítulo 5 são apresentadas as Considerações Finais .

Os Apêndices A, B e C bem como o Anexo A são documentos complementares à dissertação explicados no decorrer do texto.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

É importante definir o que são resíduos sólidos, comumente designados como lixo. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT/NBR 10.004/04 são conceituados como resíduos sólidos aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. A gestão de resíduos é fundamental, pois objetiva intervir nos processos de geração, transporte, tratamento e disposição final desses materiais, buscando garantir a curto, médio e longo prazo, a preservação da qualidade ambiental, bem como a recuperação das áreas degradadas.

A ABNT/NBR 10.004/04 também classifica os resíduos sólidos em:

- Classe I ou perigosos: São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
- Classe II ou não perigosos:
 - o Classe II A ou não-inertes: São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe II B – Inertes.

- o Classe II B ou inertes: São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma ABNT/NBR 10007/87 - Amostragem de Resíduos - Procedimento e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma ABNT/NBR 10006/87 - Solubilização de Resíduos - Procedimento, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da ABNT/NBR 10.004/04), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos sólidos também podem ser classificados segundo sua origem:

- o Residencial
- o Comercial
- o Industrial
- o Hospitalar
- o Especial
- o Feira, varrição e outros

A maior parte dos resíduos sólidos é gerada pela população urbana, sendo então as cidades, os núcleos que concentram a maior quantidade de resíduos produzida. De acordo com a contagem populacional do IBGE, a população brasileira em 2009, era de cerca de 184 milhões de habitantes, sendo que 86% desse total viviam nas cidades. Em 2000, quando este valor ainda era de 81%, o Brasil já produzia, diariamente, 125.281 toneladas de reíduos (IBGE/PNSB, 2000).

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2009, indica que em 2009 no Brasil, houve um crescimento de 6,6% na geração *per capita* de resíduos em relação a 2008, um valor excessivo comparado ao aumento da população no mesmo período que foi de apenas 1%, fato que mostra que “no país ainda não foram implementadas ações para minimização da geração de resíduos” (ABRELPE, 2009).

Podem ser adotadas diversas formas de gerenciamento de resíduos sólidos, que variam nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, como mostra o quadro 01, a seguir.

Países e Regiões	Densidade Demográfica	Nível de Renda	Características do Lixo	Gestão do Lixo
Japão Alemanha Bélgica Costa Leste dos EUA	Alta	Alto	Alta geração <i>per capita</i> e alto teor de embalagens.	Coleta total do lixo, com foco em programas de coleta seletiva. Incineração usada para gerar energia. Aterro sanitário, com controles ambientais, como forma de destinação final.
Canadá Países Nórdicos Interior dos EUA	Baixa	Alto	Alta geração <i>per capita</i> . Alto teor de embalagens com grande parcela de resíduos de jardinagem.	Coleta total do lixo. Aterro sanitário como principal forma de destinação. Algumas iniciativas de reciclagem, dependendo da região. Compostagem de resíduos orgânicos.
Cidades na Índia China Egito Brasil	Alta	Baixo	Média geração <i>per capita</i> , teor médio de embalagens e alto de restos de alimentos.	Coleta inadequada do lixo. Crescente preocupação em fechar lixões e criar aterros sanitários com controles ambientais.

Continua

				Indústrias de reciclagem abastecidas por catadores trabalhando nas ruas e lixões.
Áreas rurais da África Algumas regiões da América Latina	Baixa	Baixo	Baixa geração <i>per capita</i> . Alto teor de restos de alimentos.	Coleta inadequada do lixo. Lixão como principal forma de destinação.

Fonte: COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE), 2002 *apud* SOUZA, 2004.

Quadro 01: Situação Atual dos Resíduos no Mundo

2.2 - DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Diferentes formas para disposição de resíduos sólidos são utilizadas no Brasil, porém nem todas são ambientalmente adequadas. Dentre estes, podem ser citados o lixão, aterro controlado e aterro sanitário. Ainda, são adotadas formas de tratamento dos resíduos no Brasil, entre os mais comuns estão a incineração e a compostagem.

Os lixões, muitas vezes confundidos com os aterros sanitários são uma mera disposição dos resíduos a céu aberto, sem nenhum critério sanitário para a escolha do local e proteção ao ambiente, conforme ilustrado na Figura 03. Com relação as condições sanitárias, o principal problema são os vetores de doenças que encontram situações ideais de proliferação (CASTRO, 1998, p. 6), além da contaminação do solo e das águas pluviais e subterrâneas, já que o solo não é devidamente impermeabilizado.



Figura 03: Lixão do Município de Caldazinha – GO.

Fonte: Ministério Público do Estado de Goiás, 2009.

Segundo a ABNT/NBR – 8849/85 um aterro controlado caracteriza-se pela disposição dos resíduos sólidos em local onde recebam uma cobertura, geralmente de solos ao final de cada jornada. No entanto, geralmente não é feita a impermeabilização do terreno e nem implantação do sistema de drenagem de chorume e captação do biogás, podendo assim, provocar a contaminação do solo, dos lençóis d'água e do ar, como acontece nos lixões. Mas, apesar de não ser a alternativa mais adequada, o aterro controlado apresenta algumas vantagens com relação ao lixão, como o acesso restrito aos catadores e a diminuição da proliferação de vetores causadores de doenças e das aves de rapina, visto que os resíduos recebem cobertura (Figura 04).



Figura 04: Aterro Controlado do município de Resende – RJ.
Fonte: PIRES, 2010.

2.3 – ATERROS SANITÁRIOS

A preocupação ambiental, ascendente no Brasil e no mundo, tem trazido novas discussões aos órgãos envolvidos bem como a sociedade comum. A legislação brasileira, já há algum tempo regulamenta os usos adequados dos recursos naturais, no entanto, na prática encontram-se ainda muitas falhas. A cada dia surgem novas tecnologias que podem ser usadas de forma positiva na busca pelo verdadeiro desenvolvimento sustentável, especialmente no que tange ao estudo de novas práticas para disposição de resíduos sólidos urbanos.

Aterros de resíduos e sanitários são obras recentes. Aterros sanitários com sistema de impermeabilização composto por geomembranas de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), “começaram a ser implantados a partir da década de 1970 nos Estados Unidos” (BOSCOV, 2008). Apresentam-se algumas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) sobre aterros de resíduos:

Normas ABNT

- NBR 10005/87 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.
- NBR 10006/87 - Solubilização de Resíduos - Procedimento.

- NBR 10007/87 - Amostragem de Resíduos - Procedimento.
- NBR 10703/89 - Degradação do Solo - Terminologia.
- NBR-8419/92 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimentos.
- NBR 13221/94 - Transporte de Resíduos - Procedimento.
NBR 8.849/95 – Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.
- NBR-13896/97 – Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação – procedimento.
- NBR 10004/04 – Classificação de Resíduos Sólidos.

Norma CETESB

- Norma CETESB P4.240 - Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários.

A ABNT/NBR 10703/89 define aterro sanitário como:

Forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solos, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos a saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

Em uma definição mais recente, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº118 de 27 de junho de 2008, aterro sanitário é uma:

Técnica adequada de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, 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. (CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, 2008).

O princípio do aterro sanitário é evitar a contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais e do ar. Para BOSCOV (2008):

O projeto global de um aterro de resíduos visa impedir o contato direto da massa de resíduos com o terreno natural, assim como sua exposição prolongada a atmosfera. Os elementos estruturais são, por sua vez, projetados com a finalidade de evitar emissões não permitidas. (BOSCOV, 2008)

Os aterros sanitários devem ser construídos sobrefeitos em solo impermeabilizado e preferencialmente devem contemplar uma vida útil de operação superior a 10 anos, prevendo-se ainda o seu monitoramento por décadas após o seu fechamento, até que os resíduos dispostos estejam totalmente estabilizados. Os líquidos e os gases são muito poluentes, por isso um projeto de aterro sanitário exige cuidados como impermeabilização do solo, implantação de sistemas de drenagem eficazes, entre outros, evitando a possível contaminação da água, do solo e do ar. A Figura 05 mostra as diferentes etapas executadas em um aterro sanitário.

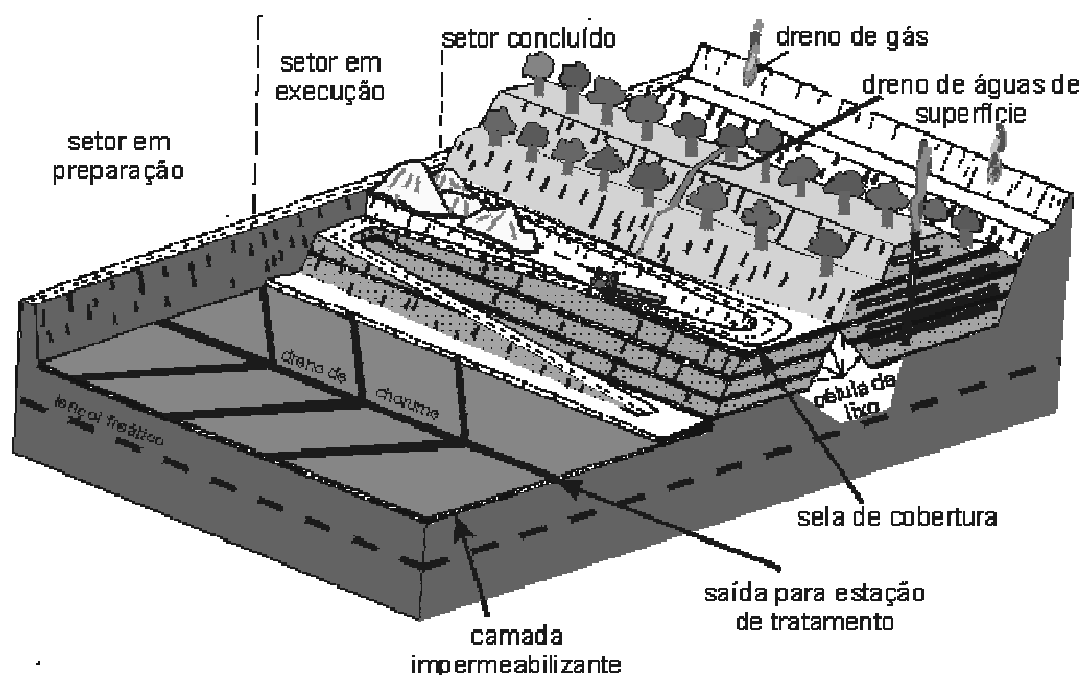


Figura 05: Esquema ilustrativo de um aterro sanitário em operação
Fonte: FARIA, 2009.

A Tabela 01, emprestada do CEMPRE (2002 *apud* SOUZA 2004) mostra dados da *United States Environmental Protection Agency (USEPA)*, de como era no início da década de 2000 o gerenciamento dos resíduos nos países desenvolvidos onde o aterramento de resíduos aparecia como a principal alternativa.

Tabela 01: Geração Anual (milhões de t/ano) e principais formas de gerenciamento de resíduos em países desenvolvidos no início da década de 2000.

País	Geração Anual (milhões de t/ano)	Aterramento		Incineração		Compostagem		Reciclagem	
		(milhões de t/ano)	%	(milhões de t/ano)	%	(milhões de t/ano)	%	(milhões de t/ano)	%
Alemanha	25,8	12,5	48,4	10,0	38,7	0,8	3,1	2,5	9,6
Holanda	11,5	6,0	52,1	3,5	30,4	0,6	5,2	1,4	12,1
Suécia	8,2	4,0	48,7	3,0	36,5	0,2	2,4	1,0	12,2
Suíça	9,0	4,0	44,4	3,0	33,3	0,8	8,9	1,2	13,3
França	15,5	9,5	61,2	1,5	9,6	3,0	19,35	1,5	9,6
Inglaterra	34,5	30,0	86,9	3,5	10,1	0,0	0,0	1,0	2,9
Japão	62,5	11,3	18,0	39,0	62,3	2,3	3,6	10,0	15,9
Estados Unidos	210,0	125,0	59,5	30,0	14,2	7,0	3,3	48,0	22,8

Fonte: CEMPRE, 2002, *apud* SOUZA 2004.

Conforme ilustra a Tabela 01, países desenvolvidos também utilizavam, no início da década de 2000, o aterramento como solução para disposição final dos resíduos, sendo encontrados os maiores valores na França e Inglaterra que ultrapassam 60% da geração anual de resíduos destinados a aterros. Ainda que sejam utilizadas outras formas de gerenciamento como a incineração e a compostagem, os rejeitos gerados nesses processos precisam ser dispostos de forma segura sendo portanto, necessário o aterro sanitário. Outro fator que favorece o uso deste método decorre do fato de que nem todos os resíduos podem ser incinerados ou utilizados no processo de compostagem em razão de características específicas, como toxicidade, não combustividade ou outras.

A reciclagem é outra prática importante no gerenciamento adequado dos resíduos. No entanto além da coleta seletiva não ser ainda hábito difundido entre a população brasileira, as administrações municipais que deveriam responsabilizar-se pela coleta dos materiais passíveis de serem reciclados mostram-se muitas vezes ausentes. Algumas associações de reciclagem não funcionam bem, pois não existe organização para coleta dos materiais

recicláveis, causando assim desânimo nos moradores que tentam selecionar seus resíduos e não sabem qual destinação dar a eles. Além das vantagens sociais e ambientais inquestionáveis, a coleta seletiva e a reciclagem eficientes, acarretam a diminuição da quantidade de resíduos enviados aos aterros sanitários, favorecendo o aumento de sua vida útil.

2.3.1 - ENCERRAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS

Hoje, alguns aterros já se encontram encerrados e muitos estão em processo de encerramento, no entanto sabe-se que o processo de decomposição dos resíduos continua ativo por muitas décadas após o fechamento do aterro. Por isso é necessário que seja feito o monitoramento até que a massa de resíduos esteja totalmente estabilizada não oferecendo riscos a saúde pública e ao meio ambiente.

A norma ABNT/NBR 13896/97 - Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação, discrimina quais atividades devem ser executadas após o fechamento do aterro sanitário, visando a proteção ambiental e qualidade de vida da população.

- Monitoramento das águas subterrâneas, por um período de 20 anos após o fechamento da instalação. (Este período pode ser reduzido, uma vez constatado o término da geração de líquido percolado, ou então estendido caso se acredite ser insuficiente);
- Manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento de líquido percolado, ou então até o término da sua geração;
- Manutenção da cobertura de modo a corrigir rachaduras ou erosão;
- Manutenção do sistema de tratamento de líquido percolado, se existente, até o término da geração desse líquido ou até que esse líquido (influyente no sistema) atenda aos padrões legais de emissão;
- Manutenção do sistema de coleta de gases (se existente), até que seja comprovado o término de sua geração;
- Pode ser exigido do responsável pela área a manutenção do isolamento do local, caso exista riscos para pessoas ou animais com acesso a ela.

Portanto, nessa etapa devem ser consideradas ações referentes a impermeabilização, cobertura final dos resíduos, drenagem de gases e percolados e monitoramento ambiental e geotécnico.

COBERTURA E IMPERMEABILIZAÇÃO

Uma das conseqüências da decomposição dos resíduos dispostos em um aterro sanitário é a geração de líquidos percolados e gases tóxicos. Para evitar a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e do ar é preciso garantir a impermeabilização de base e de cobertura, no aterro sanitário.

A cobertura impermeável superior é executada sobre a última camada de resíduos, quando a célula for encerrada. Tem como funções evitar a exposição dos resíduos ao meio ambiente, afastando vetores e aves de rapina; controlar a entrada e saída de gases e limitar a infiltração de águas pluviais, diminuindo a geração de percolados.

Em geral o revestimento superior é composto por solo de cultivo, solo argiloso, em alguns casos geomembranas e drenagem de líquidos e gases. A argila e a geomembrana são responsáveis pela impermeabilização, o solo de cultivo é importante para garantir a fixação da cobertura vegetal e a drenagem de líquidos reduz a geração de percolados diminuindo também as pressões neutras no maciço, a drenagem de gases evita sua saída para a atmosfera. Em seu livro *Geotecnia Ambiental*, BOSCOV (2008) sugere o seguinte esquema para recobrimento final do aterro (Figura 06):

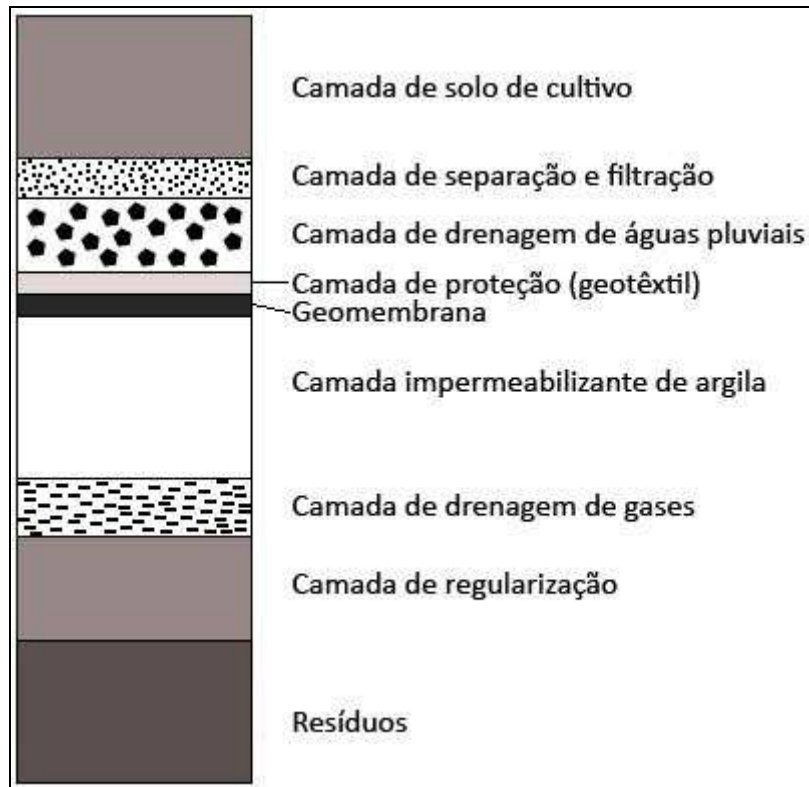


Figura 06: Esquema ilustrativo para recobrimento final de aterro sanitário.
Fonte: BOSCOV, 2008

Apesar do uso recomendado da argila como camada de impermeabilização, existem ressalvas com relação a sua utilização. Após ser compactada a argila é um material vulnerável a trincamentos, ocasionados pelos ciclos de molhagem e secagem do material, assim como por recalques diferenciais. Por isso Boscov (2008) justifica o uso dos geocompostos, afirmando que “os geocompostos argilosos e as misturas de solo com bentonita são mais flexíveis e, portanto mais apropriadas sob o ponto de vista desses fatores”.

MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO

O monitoramento ambiental de um aterro sanitário encerrado envolve ações voltadas para o meio físico e antrópico.

Visa identificar alterações nos padrões de qualidade ambiental dos solos e das águas subterrâneas e superficiais decorrentes da implantação e do período de operação do aterro. Baseia-se na interpretação dos resultados das análises físico químicas e microbiológicas de amostras de água coletadas em poços de monitoramento e em pontos selecionados das

coleções hídricas da bacia hidrográfica que contém o aterro (JORGE, BAPTISTI e GONÇALVES, 2004).

Nessa etapa devem ser monitorados os gases e percolados, a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, ar e cobertura vegetal. A drenagem dos gases e percolados deve ser executada tanto durante a operação quanto após o encerramento das atividades no aterro, evitando problemas de poluição e instabilidade dos taludes.

Os líquidos lixiviados apresentam, geralmente, altas cargas de contaminantes orgânicos e inorgânicos, além de sais diversos. A composição orgânica é muito variada, pois contém substâncias originadas das composições dos resíduos e também de produtos da biodegradação dentro do próprio aterro. Logo, devido às suas características, estes líquidos representam uma fonte de poluição significativa (CATAPRETA, SIMÕES e BATISTA, 2007).

O monitoramento dos gases tem o objetivo de detectar o risco de explosões assim como a migração de gases no interior do maciço de resíduos, o que pode ocasionar problemas de instabilidade. Jorge, Batisti e Gonçalves (2004) afirmam que para esse monitoramento devem ser realizadas:

[...] medidas de explosimetria em áreas internas e externas ao aterro encerrado, em pontos específicos, onde há suspeita que possa ter ocorrido migração e acúmulo de gases, como residências próximas ao aterro encerrado, sob edificações, em galerias de águas pluviais e de esgoto, fossas, poços de abastecimento, porões, etc. (JORGE, BATISTI E GONÇALVES, 2004).

A Norma ABNT/NBR 13.896/97 – Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação, determina que todas as instalações que tratem ou armazenem resíduos não perigosos devem possuir sistemas de monitoramento de águas subterrâneas. Para Cepollina *et. al.* (2004) as águas subterrâneas devem ser monitoradas para “verificar eventuais alterações da qualidade da água do sub-solo em decorrência das atividades do aterro sanitário”. O mesmo autor diz que o monitoramento das águas superficiais “permite averiguar as eventuais alterações da qualidade de corpos de água considerando os seus enquadramentos em relação ao que determina a Resolução CONAMA 03 e o Decreto Estadual 8648” (CEPOLLINA, *et. al.*, 2004). A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - do Estado de São Paulo, propõe valores orientadores para qualidade de solos e águas subterrâneas.

O monitoramento da qualidade do ar está muito relacionado a proximidade das residências ao aterro sanitário, geralmente em grandes centros urbanos, os aterros sanitários são circundados por bairros residenciais, por isso é importante monitorar as emissões particuladas, bem como odores que possam afetar a qualidade de vida da população próxima ao empreendimento.

No processo de recuperação de áreas degradadas, não se pode levar em conta apenas os custos da recuperação, mas também buscar meios para que o ecossistema possa tornar a desempenhar suas funções ambientais, fundamentais para o seu equilíbrio (RESENDE *et al.*, 2006). Por isso, com relação ao monitoramento da cobertura vegetal, é fundamental a escolha correta das espécies para o sucesso da recuperação ambiental da área.

Segundo ALBERTE, CARNEIRO E KAN (2005) no início são adequadas espécies pioneiras, seu uso objetiva o estabelecimento rápido das raízes, além disso, elas germinam e se desenvolvem bem em pleno sol, criando condições favoráveis para o desenvolvimento de espécies mais exigentes.

Em um aterro sanitário não são recomendadas espécies de raízes profundas, pois o uso delas pode favorecer problemas de recalque, rupturas e instabilidade do maciço. No entanto, o uso destas espécies:

[...] pode ser viabilizado com a adição de uma camada mais profunda de terra, procedimento adotado na recuperação de aterros geralmente a fim de amenizar a estética visual de um espaço estéril e monótono (ALBERTE, CARNEIRO e KAN 2005).

Para revegetação de aterros sanitários, são indicadas as gramíneas, além disso existem inúmeros estudos que comprovam a eficiência da utilização de leguminosas para esta função, como os estudos do Centro Nacional de Pesquisas em Agrobiologia - CNPAB órgão que faz parte da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA:

O êxito desta tecnologia está na interação Planta-Rizóbio-Fungos micorrízicos, que permite um rápido crescimento das espécies, independentemente da disponibilidade de N do solo, melhorando o conteúdo de matéria orgânica e a atividade biológica do solo por meio do aporte de material orgânico via serrapilheira. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, [2010?])

Segundo CAMPELLO (1999) *apud* FERREIRA *et. al.* (2007):

Dentre outras vantagens, o plantio de leguminosas arbóreas atende as necessidades de rápido estabelecimento de uma cobertura vegetal, conjugadas com os efeitos de maior duração, como oferta contínua de nitrogênio, aumento da população microbiana, elevada deposição de materiais orgânicos de rápida decomposição, além de mudanças micro-ambientais (sombra, retenção de umidade, redução de temperatura). (CAMPELLO, 1999 *apud* FERREIRA et. al. , 2007).

“Essas plantas atuam como reguladoras dos recursos disponíveis, de forma a permitir o surgimento de espécies mais exigentes” (FERREIRA *et al.*, 2007).

“Este grupo apresenta mais de 13 mil espécies catalogadas, com os mais variados fins de utilização, conferindo suas adaptações nos mais diferentes biomas” (SIQUEIRA & FRANCO, 1988 *apud* FERREIRA *et al.*, 2007).

ESPINDOLA, ALMEIDA, GUERRA (2004), apresentam exemplos de leguminosas adaptadas a diferentes condições climáticas e do solo (quadro 02):

Característica da leguminosa	Espécies
Leguminosas adaptadas às baixadas úmidas	Centrosema (<i>Centrosema pubescens</i>) Cudzu tropical (<i>Pueraria phaseoloides</i>)
Leguminosas adaptadas às condições de frio	Ervilhaca comum (<i>Vicia sativa</i>) Tremoço branco (<i>Lupinus albus</i>) Trevo branco (<i>Trifolium repens</i>) Trevo vermelho (<i>Trifolium pratense</i>)
Leguminosas adaptadas às condições de reduzida umidade do solo	Caupi (<i>Vigna unguiculata</i>) Cunhã (<i>Clitoria ternatea</i>) Feijão bravo do Ceará (<i>Canavalia brasiliensis</i>) Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)
Leguminosas adaptadas às condições de sombreamento	Cudzu tropical (<i>Pueraria phaseoloides</i>)
Leguminosas adaptadas às condições de baixa fertilidade do solo	Amendoim forrageiro (<i>Arachis pintoi</i>) <i>Crotalaria juncea</i> Cudzu tropical (<i>Pueraria phaseoloides</i>) Feijão bravo do Ceará (<i>Canavalia brasiliensis</i>) Feijão de porco (<i>Canavalia ensiformis</i>) Guandu (<i>Cajanus cajan</i>) Mucuna preta (<i>Mucuna aterrima</i>) Siratro (<i>Macropitilium atropurpureum</i>)

Quadro 02: Leguminosas adaptadas a diferentes condições climáticas e do solo

Outra etapa importante a ser seguida após o encerramento de um aterro sanitário está relacionado ao monitoramento geotécnico, que tem como objetivo “analisar o comportamento deformacional do maciço e identificar feições de degradação, de instabilidade e de situações de risco quanto a perda ou redução da estabilidade global do maciço e de seus taludes” (Jorge, Batisti e Gonçalves, 2004).

O procedimento necessário para consolidação dos monitoramentos ambiental e geotécnico são as vistorias, que são a etapa prática do trabalho de monitoramento pós-encerramento. Em seu artigo “Monitoramento de aterros sanitários nas fases de encerramento e de recuperação: desempenhos mecânico e ambiental”, Jorge, Batisti e Gonçalves (2004) afirmam que as inspeções devem verificar as seguintes feições:

- o Trincas, deformações ou outros problemas na superfície do maciço do aterro;
- o Trincas, desarranjos, alterações no caimento, empoçamentos; assoreamentos, transbordamentos ou outros problemas estruturais e funcionais dos dispositivos de drenagem superficial;
- o Abaulamentos ou abatimentos (afundamentos) da superfície do aterro;
- o Empoçamentos de águas pluviais na superfície do aterro;
- o Processos erosivos em formação e ou em desenvolvimento;
- o Condições de umidade anômalas, surgências ou vazamentos de chorume.

O Manual de Preenchimento de Fichas de Inspeção de Barragens, 2004 traz informações sobre as inspeções e avaliações que devem ser feitas em barragens de terra, apesar de ser um manual desenvolvido para estes empreendimentos, os problemas verificados nos taludes das barragens de terra são semelhantes aos que ocorrem nos taludes dos aterros sanitários. Nas barragens, o maciço de terra está sujeito a ação da água de percolação, enquanto que os maciços dos aterros estão sujeitos a ação dos líquidos percolados (chorume). A altura crítica da água de percolação nas barragens de terra e do chorume nos aterros pode determinar a ruptura hidráulica dos respectivos maciços.

Inspeções e avaliações técnicas devem ser feitas para avaliar e analisar as características hidráulicas, hidrológicas, a estabilidade estrutural e a adequabilidade operacional das diversas instalações da obra. As inspeções devem ser executadas por pessoal qualificado e treinado para identificar desvios em relação às normas e irregularidades, denominadas

de anomalias, que possam afetar potencialmente ou de imediato a segurança da barragem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL E SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA, 2004).

No documento elaborado pelo Ministério da Integração Nacional e a Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, as avaliações são classificadas de acordo com o nível de complexidade e gravidade da situação enfrentada.

Inspecções rotineiras: são aquelas executadas pelas equipes locais de operação e manutenção, como parte regular de suas atividades. A frequência dessas inspecções deve ser semanal ou mensal. Não geram relatórios específicos, mas apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas.

Inspecções formais: são aquelas que devem ser executadas por equipes técnicas do proprietário, responsáveis pelo gerenciamento da barragem, ou por seus representantes. A frequência dessas inspecções deve ser semestral ou anual. Normalmente são realizadas obedecendo a uma lista previamente definida de itens (*checklist*) que cubram todas as partes, estruturas, equipamentos e aspectos do funcionamento da barragem. Delas resultam relatórios contendo as observações de campo e as recomendações pertinentes.

Inspecções especiais: são aquelas executadas por especialistas da área relativa a algum problema detectado em uma inspeção rotineira ou formal. Sua realização requer o estudo prévio do projeto e de toda documentação disponível. Não existe uma frequência para sua realização e ocorrem sempre que um problema exija a participação de um especialista para seu diagnóstico e solução. Delas deve resultar um relatório específico capaz de orientar de forma conclusiva o encaminhamento da solução.

Inspecções de emergência: são aquelas executadas por especialistas das diversas áreas relativas à emergência em curso, bem como membros da equipe técnica e operacional do proprietário. Devem estar presentes pessoas com autoridade suficiente para tomar as decisões que venham a se tornar necessárias no caso da situação se agravar e medidas drásticas tenham que ser adotadas. Acontecem em resposta a uma emergência e obviamente não existe uma frequência para sua realização. Apesar das condições em que se processam, delas deve resultar um relatório específico capaz de justificar as medidas eventualmente adotadas, contendo diagnóstico, análise e histórico do acidente.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO ATERRO SANITÁRIO

A correta gestão dos resíduos sólidos deve incluir em seu esboço a conscientização da população a respeito deste tema, no entanto, apesar do avanço alcançado no Brasil nos últimos anos com relação às questões ambientais, a sociedade em geral pouco sabe sobre os resíduos gerados em sua própria residência. Como consequências dessa falta de informações, criam-se entraves à correta gestão dos resíduos sólidos urbanos. Muitas vezes não se concretizam ações ambientalmente adequadas, como coleta seletiva e reciclagem, diminuição da geração de resíduos e disposição adequada deles. Todas essas questões estão intimamente relacionadas com o bom funcionamento do aterro sanitário. A coleta seletiva, a diminuição da quantidade de resíduos enviada ao aterro e a redução da carga de matéria orgânica presente na massa de resíduos, contribuem para o prolongamento da vida útil de aterros sanitários.

Para grande parte da população ainda há confusão sobre a diferença entre o aterro sanitário e o lixão, falha que pode ser solucionada com práticas de educação ambiental, especialmente voltadas aos moradores do entorno dos aterros sanitários.

Após o encerramento das atividades de disposição de resíduos, a área do aterro se torna mais vulnerável a invasões, o que pode representar situações de perigo visto que a massa de resíduos demora décadas para se estabilizar. Assim sendo, é necessário que a população tenha acesso a informações sobre o aterro sanitário e possa conhecer como funciona o processo de disposição final dos resíduos sólidos gerados em suas casas. Neste sentido a educação ambiental tem um papel muito importante.

Ao interferir no processo de aprendizagem e nas percepções e representações sobre a relação entre indivíduos e ambiente nas condutas cotidianas que afetam a qualidade de vida, a educação ambiental promove os instrumentos para a construção de uma visão crítica, reforçando práticas que explicitam a necessidade de problematizar e agir em relação aos problemas sócio-ambientais, tendo como horizonte, a partir de uma compreensão dos conflitos, partilhar de uma ética preocupada com a justiça ambiental (JACOBI, 2005).

Para Reigota (1998 *apud* JACOBI, 2003)

A educação ambiental aponta para propostas pedagógicas centradas na conscientização, mudança de comportamento, desenvolvimento de competências, capacidade de avaliação e participação dos educandos.

Projetos de educação ambiental devem compor um plano de encerramento para aterros sanitários visto que, a partir da sensibilização da população para os problemas gerados pela má gestão dos resíduos, bem como o conhecimento dos processos de disposição dos resíduos no aterro sanitário, dão suporte para a concretização dos objetivos do plano de encerramento, de manter a área isolada e monitorada até que os resíduos estejam totalmente estabilizados.

Segundo Jacobi (2003),

A educação ambiental assume cada vez mais uma função transformadora, na qual a co-responsabilização dos indivíduos torna-se um objetivo essencial para promover um novo tipo de desenvolvimento – o desenvolvimento sustentável.

Na Bahia foi desenvolvido o programa Pró-Saneamento, através do qual sete municípios são beneficiados com sete aterros sanitários que, compartilhados, beneficiarão ao todo onze municípios (Alagoinhas, Catu, Itapetinga, Teixeira de Freitas, Jequié, Santo Antônio de Jesus, Jaguaquara, Muniz Ferreira, Nazaré das Farinhas, Pojuca e Mata de São João). Nesse programa, as campanhas de educação ambiental se iniciam juntamente com a implantação dos aterros.

O Programa de Educação Ambiental do Pró-Saneamento é desenvolvido através de ações educativas com cursos, palestras, seminários e mutirões ambientais e objetiva informar, orientar, conscientizar e mobilizar a população sobre a importância da destinação adequada dos resíduos sólidos. O programa é direcionado às escolas, através de cursos de capacitação, palestras, seminários, mutirões ambientais e oficinas de reciclagem para diretores, professores e alunos; associações e entidades comunitárias através de seminários, palestras e cursos seqüenciais; população em geral através de informes em rádios, carro de som, folhetos informativos, trabalhos artísticos, enquetes teatrais e campanhas educativas.

O programa Pró-Saneamento na Bahia é um exemplo de ações efetivas de educação ambiental voltadas para a conscientização da população sobre resíduos sólidos e aterros sanitários.

A REALIDADE INTERNACIONAL DE ATERROS ENCERRADOS

Apesar de o Brasil ter obtido avanços no tocante a correta disposição de resíduos sólidos urbanos, a realidade internacional mostra que a situação brasileira ainda é desfavorável. A legislação internacional tem se mostrado mais rígida com relação a imposição de normas ambientalmente adequadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. Gerhard Rettenberger da Universidade de Trier, na Alemanha, apresentou um trabalho onde são mostrados os números de aterros que estavam em operação ou com perspectivas de encerramento até o ano de 2005 no país. De acordo com esse trabalho, existiam 355 aterros em operação na Alemanha em meados de 2005 e a previsão era de que 70% a 80% desses aterros fossem encerrados até o final do mesmo ano. O autor também afirmou que “desde 1995, 119 aterros sanitários foram encerrados no país”. (RETTENBERGER, [200-], tradução nossa).

“De acordo com a lei alemã, após o fim da disposição de resíduos nos aterros, estes devem ser encerrados usando-se tecnologias adequadas (sistema de impermeabilização, coleta de gases, coleta de lixiviados e limpeza)”. (RETTENBERGER, [200-], tradução nossa). A Figura 07 mostra como isso deve acontecer:

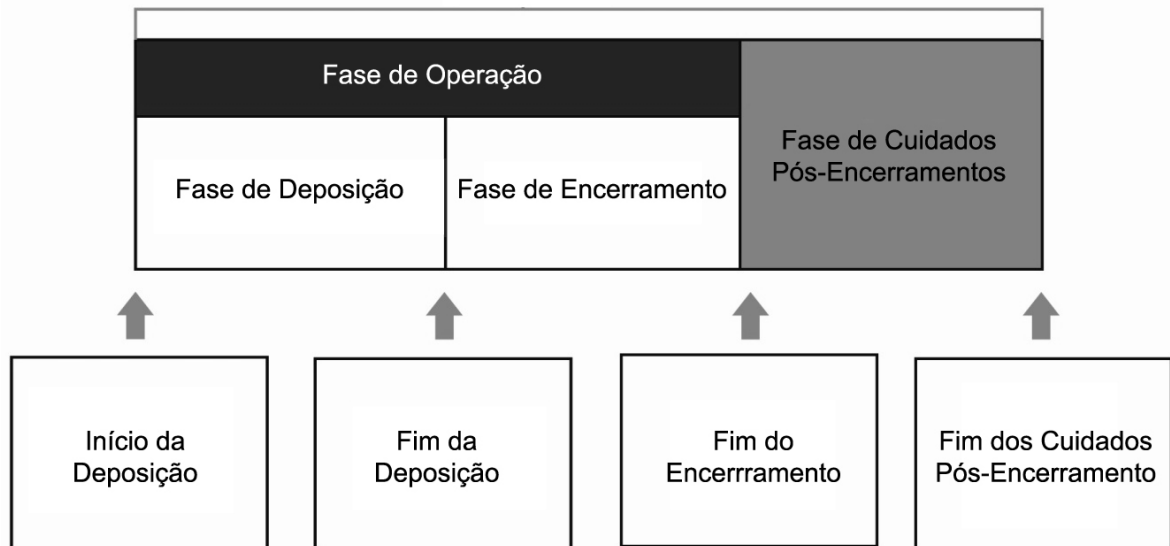


Figura 07: Etapas de funcionamento em aterro sanitário na Alemanha.

Fonte: RETTENBERGER, [200-], tradução nossa.

De acordo com a Figura 07 após o final da deposição de resíduos, existe a fase de encerramento, no entanto após o fechamento definitivo do aterro inicia-se a fase de cuidados pós-encerramento, que baseia-se em uma série de cuidados exigidos pela lei alemã, como: a impermeabilização do topo, sistema de drenagem de percolados, sistema de coleta de gás, sistemas de drenagem de águas pluviais, etc.

As Figuras 08 e 09 abaixo, ilustram as camadas de isolamento dos resíduos e proteção ambiental de dois aterros já encerrados na Alemanha.

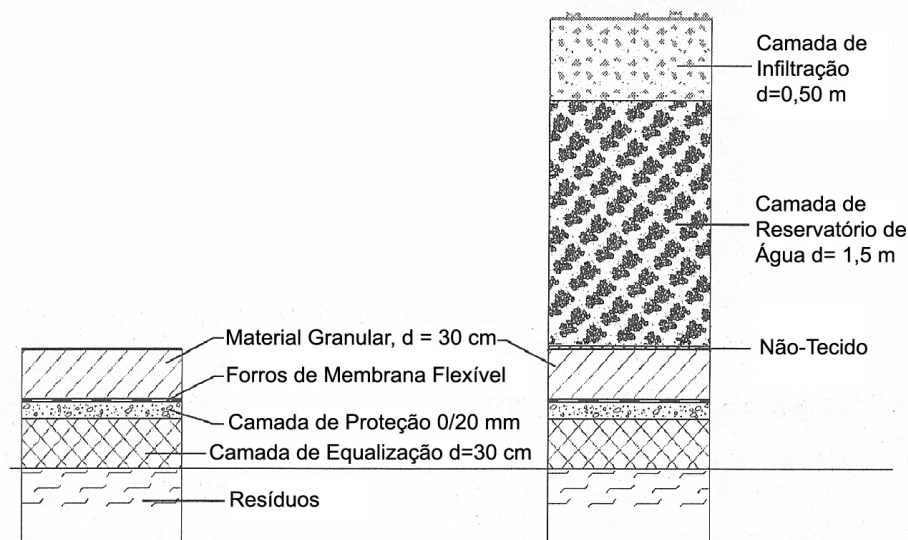


Figura 08: Composição da cobertura final do Aterro Sanitário de Bruchsal no sul da Alemanha

Fonte: Deufel, 2004 *apud* RETTENBERGER G., [200-], tradução nossa.

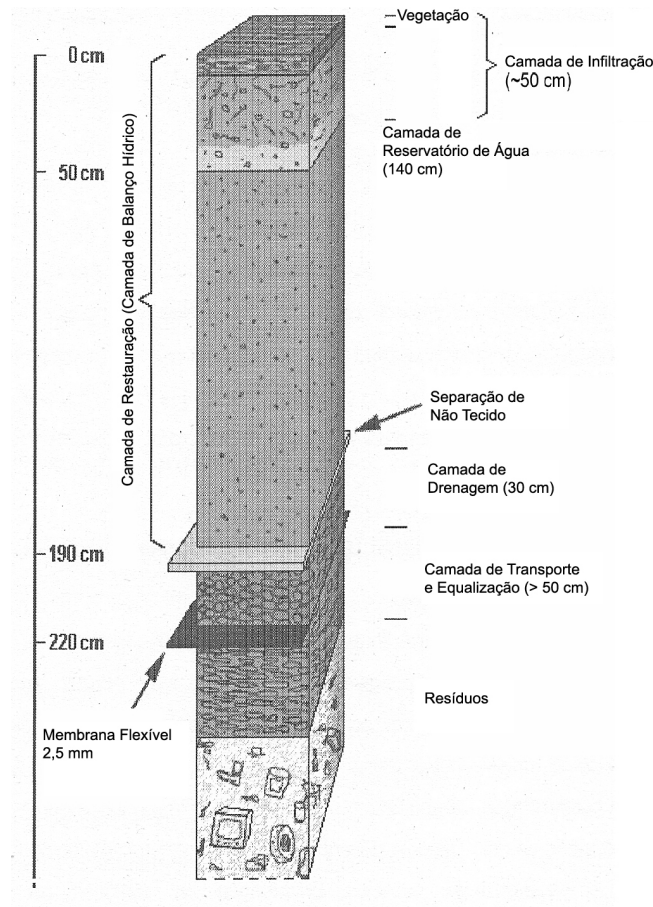


Figura 09: Composição da cobertura final do Aterro Sanitário de Sprendlingen, no sudoeste da Alemanha.

Fonte: EGLOFFSTEIN *et. al.*, 2004 apud RETTENBERGER, [200-], tradução nossa.

Como mostram as figuras nos dois aterros na Alemanha foram utilizadas várias camadas de solo com as funções de criar o balanço hídrico no seu interior (camadas de percolação, de armazenamento de água, de drenagem e de sustentação e regularização). A geomembrana tem a função de evitar a percolação da água pluvial para o interior do maciço de resíduos e, ao mesmo tempo, impedir a liberação de biogases para a atmosfera. Com relação a utilização dada a aterros sanitários encerrados, pode-se citar como exemplo o Aterro Sanitário de Britannia no Canadá, onde, de acordo com o autor CONRAD, L. (2004, tradução nossa), após o encerramento em 1999, foi implantado um campo de golfe, esporte comum no país e posteriormente um projeto de aproveitamento da energia gerada pelo biogás. No entanto, é preciso ressaltar que em climas temperados e frios a decomposição dos resíduos orgânicos ocorre de maneira mais lenta, enquanto que em regiões tropicais a decomposição se faz de forma acelerada. Assim sendo, os movimentos decorrentes de mudança de volume do maciço de resíduos são mais acentuados nessas regiões.

Para O'LEARY e WALSH (entre 1991 e1992, tradução nossa), especialistas em resíduos sólidos da Universidade de *Wisconsin-Madison* nos Estados Unidos, “a melhor estratégia para utilização futura de áreas de destinação de resíduos sólidos, é fazer o planejamento antes mesmo da construção do aterro”. Os estudiosos também defendem usos potenciais para essas áreas como: parque de recreação, refúgio animal, campo de tênis, campo de golfe, estacionamento comercial ou instalações industriais, sendo que para os últimos são necessários estudos minuciosos para garantir a segurança da construção.

“É prudente planejar algumas estruturas durante a operação do aterro, como sistema de tratamento de gases e ainda reservar algumas áreas para monitoramento de águas subterrâneas e para instalação de equipamentos e estruturas de saneamento, evitando assim, possíveis mudanças onerosas pós-encerramento.” (O'LEARY e WALSH, entre1991 e 1992, tradução nossa).

2.3.2 - NOVA CONCEPÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

O ATERRO COMO BIORREATOR

Atualmente, o conceito de aterro sanitário como local para simples armazenamento de resíduos sólidos tem se alterado. Existem novas técnicas que permitem utilizar os aterros como forma de tratamento dos resíduos. Dessa maneira o objetivo é reduzir a massa e o volume dos resíduos, incentivando a decomposição microbiana, além de realizar o reaproveitamento do biogás para uso energético e troca no mercado de carbono. Os aterros são assim chamados de biorreatores. Boscov (2008) enumera algumas vantagens dos aterros biorreatores:

- Estabilização mais rápida da massa de resíduos, que se completa em 5 a 10 anos, enquanto em aterros convencionais são necessários de 30 a 100 anos;
- Aumento da produção de biogás;
- Aumento dos recalques finais e da velocidade de recalque (o que resulta em um espaço adicional que aumenta a vida útil do aterro);
- Redução da carga poluente no percolado, resultante da redução parcial a total dos produtos orgânicos, da diminuição da DBO, do aumento da produção de ácidos graxos que elevam o pH e reduzem a capacidade do chorume de transportar metais

e da geração de um material semelhante ao húmus que age como um filtro para sais e metais presentes no chorume.

Existem, no entanto algumas desvantagens e cuidados que devem ser tomados em aterros biorreatores. O aumento da velocidade dos recalques pode danificar as estruturas de drenagem superficial e de chorume e também as de captação do biogás.

O aterro biorreator deve possuir um sistema injetor de água no maciço, pois a água é consumida na decomposição dos resíduos e a umidade é fator essencial para o funcionamento do biorreator. Os líquidos podem ser introduzidos na massa de resíduos por pré-umidificação, aspersão, valas escavadas na superfície do aterro e poços de injeção (Bosco,2008). Em muitos aterros que já funcionam como biorreatores é feita a recirculação do chorume, que funciona como mecanismo de umidificação do maciço e ainda como tratamento do percolado, no entanto, é preciso que haja cuidado ao realizar a recirculação de líquidos no aterro, fato que pode provocar instabilidade do maciço sanitário, por isso deve ser feito o monitoramento constante das condições geotécnicas do aterro.

A vida útil do aterro é fator fundamental, visto que geralmente aterros com menos de cinco anos ainda não possuem carga suficiente para geração de eletricidade (Borba, 2002 *apud* Marchi; Barbosa, 2007).

Ao ser preparado para funcionar como aterro biorreator, com o aproveitamento do biogás, o aterro pode entrar no comércio de emissões de créditos de carbono, que trata-se da geração de créditos de carbono por meio de projetos que absorvam ou reduzam gases de efeito estufa, assim são comercializadas cotas para emissão de gases poluentes, de modo que países que estejam abaixo da cota permitida possam vender as não utilizadas para outros. Marchi e Barbosa (2007) afirmam que o Banco Mundial vem assinando contratos para compra desses créditos, oriundos de aterros brasileiros, com o governo da Holanda, do Canadá e da França, dentre outros.

2.3.3 – UTILIZAÇÃO FUTURA DE ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS: POSSIBILIDADES E RISCOS

A disposição de resíduos sólidos em determinada área, seja de maneira adequada como aterro sanitário ou como lixão, confere ao local características muito particulares e

cuidados essenciais que precisam ser observados ao pensar em algum uso futuro deste. A decomposição dos resíduos pode levar décadas para se completar, até que a massa de resíduos se torne estável. Instabilidade de taludes, recalques, erosões com exposição e carreamento de resíduos para jusante, elevação do nível de percolados além da altura crítica, contaminação por gases ou por líquidos percolados são alguns dos problemas que podem ocorrer. É essencial que seja feito o monitoramento adequado dessas áreas evitando contaminação ambiental e danos a saúde humana, caso ela seja usada inadequadamente.

[...] em função dos possíveis problemas relacionados à baixa capacidade de suporte do terreno e a possibilidade de infiltração de gases com alto poder combustível e explosivo (metano), a implantação de edificações sobre aterros sanitários desativados é desaconselhável (FEAM, 1995 *apud* ALBERTE, CARNEIRO E KAN 2005).

No entanto, o crescimento das cidades, impulsionado pelo aumento da população, torna os espaços adequados para construções cada vez mais escassos e excessivamente valorizados. Esta situação torna-se ainda mais grave devido ao mau planejamento das administrações municipais, que autorizam loteamentos ou ignoram as invasões, associado à presença de construtoras inescrupulosas.

No Brasil, existem alguns exemplos dessa prática irresponsável e perigosa de omissão do poder público municipal. Em Ribeirão Preto – SP, em 1991 foram construídos conjuntos habitacionais populares: Jardim Juliana e Jardim Palmeiras I e II. No local entre os anos de 1974 e 1978 funcionou um lixão. Logo que foram entregues, as residências começaram a apresentar problemas como recalque da base de sustentação e rachaduras, além da exposição dos moradores aos contaminantes dos resíduos, que ainda estavam em processo de decomposição.

Em Mauá – SP foram construídos edifícios sobre uma área usada como depósito de resíduos industriais, cuja responsável era a empresa Cofap. Análises realizadas pela CETESB constataram a presença de 44 substâncias tóxicas, inclusive algumas cancerígenas. Foram detectados problemas de emissão de gases tóxicos, forte odor de produtos químicos, doenças de pele e doenças letais, como câncer. Um técnico morreu em uma explosão ao fazer manutenção de uma bomba em uma das caixas d'água do condomínio. Ações foram impetradas na justiça, a qual determinou a evacuação e demolição dos prédios, além de pagamento de indenizações aos moradores.

Outro exemplo recente do uso indevido de áreas de deposição de resíduos, foi a catástrofe incidente ocorrida na cidade de Niterói – RJ, em abril de 2010. Na ocasião houve um grande escorregamento de parte de um morro provocado no período de intensa precipitação atmosférica. O movimento de grande massa de solo e resíduos resultou na destruição completa de centenas de casas e vitimou dezenas de pessoas. No local funcionou o segundo lixão do município de Niterói entre os anos de 1970 a 1986. Após a desativação do lixão, aconteceram invasões devido à ausência de fiscalização por parte do poder público municipal.

Já na cidade de Campinas – SP, o aterro sanitário Parque Santa Bárbara, desativado a mais de 10 anos, comporta hoje uma área para lazer, com pista de caminhada, parque infantil, horta comunitária, entre outras utilizações.

É preciso tratar com cautela o uso futuro de áreas de destinação de resíduos sólidos, seja ele na forma de edificações ou áreas de lazer, visto que, até que se complete a decomposição dos resíduos, a área pode apresentar instabilidade geotécnica, além do risco de exposição à possíveis vazamentos de gases e percolados.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Para desenvolvimento da dissertação, primeiramente foi feito levantamento bibliográfico sobre resíduos sólidos urbanos, recuperação de áreas degradadas, aterros sanitários, encerramento de aterros sanitários, geotecnia ambiental, dentre outros assuntos relacionados ao tema trabalhado.

Tendo em vista que a pesquisa trata-se de uma proposta de ações a serem executadas em aterros já encerrados, foi necessário um levantamento sobre a existência de um termo de referência, ou normatizações que tratem de ações a serem implementadas em aterros sanitários nas fases mencionadas. Esse levantamento foi realizado por correio eletrônico, junto a alguns órgãos ambientais em nível nacional e estadual, normatizadores ou fiscalizadores, escolhidos aleatoriamente. Para isso, os seguintes órgãos foram contactados: Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, Fundação Estadual do Meio Ambiente do Mato Grosso – FEMA, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM / RS, Instituto Ambiental do Paraná – IAP e Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará – SEMACE, todos contatados entre novembro e dezembro de 2009.

Entre os órgãos ambientais pesquisados, foram obtidas respostas do CONAMA, da CETESB, da FEPAM-RS e da FEAM. O CONAMA apresenta a Resolução CONAMA 404/2008 que define critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental para aterros sanitários de pequeno porte e prevê no seu artigo quarto, a apresentação de plano de encerramento e uso futuro.

[...] Art. 4º No licenciamento ambiental dos aterros sanitários de pequeno porte contemplados nesta Resolução deverão ser exigidas, no mínimo, as seguintes condições, critérios e diretrizes:

XVI - apresentação de projeto de encerramento, recuperação e monitoramento da área degradada pelo(s) antigo(s) lixo(ões) e proposição de uso futuro da área, com seu respectivo cronograma de execução;

XVII - plano de encerramento, recuperação, monitoramento e uso futuro previsto para a área do aterro sanitário a ser licenciado [...]. (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2008)

No entanto, como se vê, as ações necessárias para o correto encerramento de aterros sanitários, não são detalhadas nesse documento.

A CETESB não apresenta nenhuma norma, resolução ou diretriz que trate especificamente de encerramento de aterros sanitários. A FEPAM-RS afirmou seguir as normas NBR, da ABNT. A FEAM criou, em 2003, o programa “Minas sem Lixões”, este programa não trata especificamente de encerramento de aterros sanitários, mas apresenta, entre outros, formas de encerramento e reabilitação de áreas degradadas por lixões. Como foi evidenciado nesse levantamento entre os órgãos ambientais que responderam ao contato, não se observa nenhuma lei, norma ou diretriz que trate as ações específicas a serem tomadas ao ser encerrado um aterro sanitário.

A ABNT/NBR 13896/97 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação, discrimina os objetivos e etapas do plano de encerramento e, ainda, as atividades a serem executadas após o fechamento do aterro, mostrados no capítulo 2, item 2.3.2, dessa dissertação. Também a ABNT/NBR 8419/92 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, determina que “deve ser apresentado um plano, indicando como e quando o aterro sanitário será dado como encerrado, assim como os cuidados que serão mantidos após o encerramento das atividades, tais como monitoramento e controle de vetores”. No entanto estes itens são tratados de forma resumida; a maneira como essas ações devem ser executadas não é detalhada na norma, o que justifica a relevância do trabalho aqui proposto.

Como forma de agregar informações que pudessem compor a dissertação, foram realizadas visitas técnicas a aterros já encerrados e em fase de encerramento, sendo eles: Aterro Sanitário de Belo Horizonte – MG; Aterro Sanitário Parque Santa Bárbara em Campinas – SP; Aterro Sanitário Bandeirantes em São Paulo - SP e o Aterro Sanitário de Uberlândia – MG. As visitas aconteceram entre os meses de junho e dezembro de 2009. Nelas buscou-se observar aspectos referentes aos cuidados e monitoramento pós-encerramento do aterro, como: as ações que foram propostas para essa fase, o que é monitorado, os instrumentos que ainda funcionam e as condições desses instrumentos, a previsão para o monitoramento pós-encerramento, problemas já verificados após o encerramento, impermeabilização do

topo, treinamento de pessoal, entre outros, na forma de um questionário mostrado em Apêndice A, no final desse trabalho.

Considerando que não seria possível conhecer todos os aterros encerrados existentes no Brasil, em função do tempo disponível para conclusão da dissertação e ainda pelo custo das viagens, o mesmo questionário mencionado, foi enviado para outros aterros sanitários e empresas responsáveis pela administração de aterros sanitários, foram contactados o Aterro Sanitário da Caximba em Curitiba – PR, a concessionária EcoUrbis Ambiental S.A. responsável pela administração de aterros na cidade de São Paulo e a Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro - RJ. Dentre estes, apenas a EcoUrbis Ambiental S.A. respondeu ao questionário com informações sobre o aterro Sítio São João em São Paulo – SP, mostrado em Apêndice B, no final desse trabalho.

Foram elaboradas propostas para o desenvolvimento de cinco programas que contemplem ações a serem implementadas em aterros sanitários encerrados. Através desses cinco programas de ações foi elaborado um **Manual Técnico de Medidas Preventivas e Corretivas para Aterros Sanitários Encerrados**, apresentado em Apêndice C. Em geral, o desenvolvimento do manual proposto por essa dissertação baseou-se nas observações feitas nas visitas de campo bem como em pesquisas em artigos e trabalhos já desenvolvidos sobre aterros sanitários, considerando, porém, que são poucos os trabalhos na literatura científica e técnica a cerca da abordagem sobre as ações a serem implementadas no período pós-encerramento de aterros. A grande maioria dos trabalhos pesquisados concentra seus estudos na proposição de alternativas para o uso futuro da área, não sendo este o objetivo principal dessa dissertação de mestrado.

Este manual é apresentado de forma didática e simplificada e visa fornecer subsídios para as administrações de aterros sanitários, de forma a facilitar os trabalhos de encerramento e o monitoramento pós-encerramento. O manual pode servir ainda às administrações municipais, como um guia dos trabalhos a serem executados em aterros sanitários após o seu encerramento.

3.1- VISITAS DE CAMPO - A REALIDADE DOS ATERROS SANITÁRIOS JÁ ENCERRADOS

3.1.1 - ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

O aterro sanitário de Belo Horizonte integra a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) do município, localizada na região Noroeste de Belo Horizonte, às margens da rodovia BR 040, ocupando uma área de 144 hectares e teve suas atividades iniciadas em 1975. Durante 14 anos funcionou como aterro controlado, passando a energético em 1989, época em que os gases gerados passaram a ser reaproveitados. Em 1995, passou-se a adotar a técnica de biorremediação como forma de tratar a massa de resíduos aterrada e em 2002 voltou a ser operado de forma convencional. (CATAPRETA, et. al., 2007).

Na ocasião da visita, em julho de 2009, a exploração do biogás havia sido retomada por uma concessionária italiana. No total, em todo o período de funcionamento, foram aterrados cerca de 23 milhões de toneladas de resíduos, a Figura 10 mostra a vista geral do aterro de Belo Horizonte.



Figura 10: Vista geral do Aterro Sanitário de Belo Horizonte
Fonte: A autora, 2009.

Ainda funcionam no aterro uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil (Figura 11), um pátio de compostagem (Figura 12) e um galpão de recebimento de pneus (Figura 13) que são encaminhados para reciclagem. Também está ativa uma célula para disposição de resíduos de saúde e uma unidade de transbordo, no entanto desde dezembro de 2007 as atividades de recebimento de resíduos domiciliares estão encerradas.



Figura 11: Usina de reciclagem de resíduos de construção civil implantada no aterro sanitário de Belo Horizonte.

Fonte: A autora, 2009.



Figura 12: Pátio de compostagem dos resíduos orgânicos implantado no aterro sanitário de Belo Horizonte.

Fonte: A autora, 2009.



Figura 13: Galpão para recebimento de pneus implantado no aterro sanitário de Belo Horizonte.

Fonte: A autora, 2009.

No local, foram aterrados resíduos sólidos urbanos desde 1975, no entanto naquela data não havia nenhum controle ambiental para evitar a contaminação da água, solo e ar. Atualmente onde iniciou-se a deposição, existe um campo de futebol usado pelos funcionários do aterro (Figura 14) e o restante da área esta totalmente revegetada (Figura 15). A área original a ser ocupada pelo aterro era de 1 440 000 m², porém, hoje são 1 100 000 m². Essa redução se deu em razão de invasões ocorridas e devido à proximidade das residências ao aterro. Em alguns locais as casas estão ao lado do empreendimento, separadas apenas por um muro, fato que foge ao cumprimento da norma ABNT/NBR 13896/97 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação, que determina que “deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos urbanos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 metros”. É importante considerar que muitos aterros antigos tendem a ser incorporados pela mancha urbana que cresce e acaba cercando o empreendimento, porém, este problema pode ser evitado ou minimizado desde que, na etapa de planejamento do aterro, seja prevista uma área circundante a qual seja objeto de rigorosa fiscalização, impedindo a invasão de pessoas.

Outra consequência dessa proximidade é a entrada de pessoas, especialmente crianças em locais não permitidos. Durante a visita foram observadas várias crianças transitando pelo aterro como mostra a Figura 16, foi pontuado que, apesar da existência das cercas para isolamento da área do aterro, os residentes do entorno transpassam ou rompem a barreira que separa o aterro das casas.

Outro fator importante que deve ser considerado no planejamento e execução de um aterro sanitário são programas de educação ambiental, especialmente envolvendo os moradores do entorno. Sendo estes diretamente afetados pela proximidade do empreendimento é fundamental evitar ou minimizar problemas semelhantes aos que ocorrem no aterro sanitário de Belo Horizonte, onde são freqüentes as invasões e a depredação do muro e das cercas do aterro, mediante projetos eficientes de educação ambiental, nos quais a população possa ter acesso à informações sobre o aterro e conhecer o processo de gerenciamento dos resíduos gerados em suas casas.



Figura 14: Área inicial de deposição de resíduos, hoje um campo de futebol implantado no aterro sanitário de Belo Horizonte.

Fonte: A autora, 2009.



Figura 15: Área inicial de deposição de resíduos no aterro sanitário de Belo Horizonte, hoje revegetada.

Fonte: A autora, 2009.



Figura 16: Crianças brincando na área do aterro sanitário de Belo Horizonte.
Fonte: A autora, 2009.

Ao serem encerradas as atividades, os resíduos da cidade de Belo Horizonte passaram a ser encaminhados para o município de Sabará. Para tanto é utilizada a unidade de transbordo de onde os resíduos são encaminhados para o outro aterro.

Com relação ao recobrimento final do aterro, apenas as áreas onde foram dispostos resíduos não inertes foram impermeabilizadas com argila, as demais células não. A célula onde são dispostos os resíduos de serviço de saúde é impermeabilizada com manta de PEAD. A cobertura diária dos resíduos foi feita com resíduos de construção civil e solo. Onde é realizado o recobrimento final com argila, disposta em camada de 70 cm de espessura, acha-se presente uma camada de cobertura primária, feita ao longo do período de operação do aterro, constituída de 3 a 4 metros de resíduos de construção civil e solo. Para controle da poluição, é realizado monitoramento das águas superficiais em três córregos que passam pela área, em pontos situados a montante e a jusante em relação ao aterro. Também são monitoradas as águas subterrâneas, sendo dezoito poços, com medições trimestrais pós-encerramento (Figura 17). Em virtude da proximidade das residências, é feito o monitoramento do ar por meio de controle dos níveis de partículas totais e inaláveis em suspensão (Figura 18). Para reduzir o nível de particulados as vias de circulação são constantemente irrigadas procurando, assim, evitar a dispersão de partículas

de poeira. Uma vez que as operações no aterro forem totalmente desativadas, esse monitoramento não será mais realizado.



Figura 17: Poço de monitoramento de águas subterrâneas no aterro sanitário de Belo Horizonte.

Fonte: A autora, 2009.



Figura 18: Estação de monitoramento do ar no aterro sanitário de Belo Horizonte.
Fonte: A autora, 2009.

Para o monitoramento geotécnico são realizadas medidas de poro-pressão nos diques e no interior das células de resíduos com o uso de piezômetros e drenos verticais para monitorar a formação de líquidos percolados no interior das células. Os recalques superficiais são monitorados por meio de medidores de recalques instalados ao longo dos taludes para identificação de problemas relacionados a sua estabilidade. São feitas medidas de permeabilidade na camada de impermeabilização de base, diques, camadas de cobertura e resíduos através de ensaios de campo utilizando permeâmetro de *Guelph* e em furos de sondagem e de laboratório com permeâmetro. O aterro possui inclinômetros instalados em no dique de contenção de células para acompanhar movimentações do maciço.

Líquidos percolados são captados e transportados para um ponto da rede de esgoto e posteriormente encaminhados para a estação de tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). No aterro são feitas apenas análises mensais, com o objetivo de verificar se os percolados estão dentro dos parâmetros exigidos pela empresa que realiza o tratamento. Os biogases são monitorados por uma empresa contratada especificamente para essa função.

Em razão da falta de impermeabilização da base em grande parte do aterro, especialmente na área de deposição inicial, onde não era feito controle ambiental, estão sendo

implantados mais dez poços de monitoramento das águas subterrâneas. Estes poços serão usados para o desenvolvimento do mapeamento hidrogeológico do aterro. Este estudo está sendo feito em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A previsão para monitoramento do aterro pós-encerramento é de 20 anos no mínimo, após esse período deverá ser feita uma avaliação das condições do maciço, para verificar a possibilidade de uso do local, provavelmente como uma área de lazer.

3.1.2- ATERRO SANITÁRIO PARQUE SANTA BÁRBARA – CAMPINAS - SP

O Aterro Parque Santa Bárbara, localizado na região de Campinas – SP, iniciou sua operação em 1983 e foi desativado em 1992, antes mesmo do término de sua vida útil, A desativação foi antecipada em função do crescimento dos bairros circundantes ao aterro, o que impossibilitou a continuidade de suas operações. De acordo com a administração do aterro, ele foi projetado dentro dos padrões técnicos aceitáveis na época.

A área de 300.000 m² recebeu, em todo o período de funcionamento, cerca de 1 milhão de toneladas de resíduo domiciliar da região de Campinas. Esta área foi dividida em duas partes sendo que, em uma delas é realizado o monitoramento eficaz, com vistas a recuperação ambiental da área; na outra são monitorados apenas alguns fatores e não há preocupação com relação a sua recuperação. Na primeira é realizado o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas, drenagem de águas pluviais (Figura 19) e drenagem e queima dos biogases (Figura 20). Nessa área são desenvolvidos projetos de recuperação ambiental, os quais englobam uma horta hidropônica (Figura 21) e uma convencional, utilizadas pela comunidade local; implantação de área de lazer (Figuras 22 e 23); campos de futebol e uma pista de caminhada (Figura 24). Também são realizados projetos de educação ambiental: o Reciclaterro, através do qual crianças de 5º a 8º séries fazem visitas orientadas a área para conhecer o aterro; ainda o Lixotur, no qual os alunos de escolas da cidade podem fazer um passeio conhecendo todos os aterros encerrados e em operação.



Figura 19: Canaleta de drenagem pluvial na área monitorada no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP.

Fonte: A autora, 2009.



Figura 20: Queimador de biogás na área monitorada no aterro Parque Santa Bárbara em Campinas-SP.

Fonte: A autora, 2009.