

ANDRÉ NAGALLI

**DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS
DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO ESTADO DO PARANÁ – ESTUDO DE
CASO DOS MUNICÍPIOS DE JACAREZINHO E BARRA DO JACARÉ**

**CURITIBA
2005**

ANDRÉ NAGALLI

**DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS
DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO ESTADO DO PARANÁ – ESTUDO DE
CASO DOS MUNICÍPIOS DE JACAREZINHO E BARRA DO JACARÉ**

**Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia de
Recursos Hídricos e Ambiental do Curso de Pós-
Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos
e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade
Federal do Paraná.**

**Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Cristina B. Braga
Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Sandra Mara Alberti**

**CURITIBA
2005**

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRÉ NAGALLI

DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO ESTADO DO PARANÁ – ESTUDO DE CASO DOS MUNICÍPIOS DE JACAREZINHO E BARRA DO JACARÉ

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Borba Braga
Departamento de Hidráulica, UFPR

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Sandra Mara Alberti
Departamento de Hidráulica, UFPR

Prof. Dr. Alberto Pio Fiori
Departamento de Geologia, UFPR

Prof. Dr. Sandro Froehner
Departamento de Hidráulica, UFPR

Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse
Departamento de Hidráulica, UFPR

Curitiba, 18 de abril de 2005.

AGRADECIMENTOS

A Deus que tudo torna possível.

A meus pais e irmãos, minha base de apoio na vida; por tornarem mais agradável e consistente esta caminhada.

Às minhas orientadoras Prof^ª. Dr^a Maria Cristina Borba Braga e Prof^a Dr^a Sandra Mara Alberti pela colaboração, incentivo, dedicação e amizade.

Ao LACTEC pela contribuição financeira e pela disponibilização de sua estrutura e serviços para realização da pesquisa.

Aos funcionários da Prefeitura de Jacarezinho e Barra do Jacaré, em especial Alda Maria Aguiar Cruz e Edson Jackson Yera Oliveira, que forneceram todas as informações possíveis, proporcionaram livre acesso a suas instalações e tornaram esta pesquisa possível.

À SUDERHSA, nas pessoas de Mario Kondo e Faustino Lauro Corso e ao IAP, na pessoa de Adriana de Fátima Ferreira, pela atenção e informações prestadas.

Aos amigos, Prof. Msc. Paulo Chamecki e Prof. Dr. Alessander Morales Kormann pelo apoio, incentivo e colaboração.

À Gilmara, pela orientação e ajuda indispensável à realização dos ensaios laboratoriais.

Aos colegas de mestrado, em especial Fábio Kazu Inoue, Vinício Costa Bruni e Sônia Iara Portalupi Ramos, pelo incentivo, conselhos e amizade.

Às amigas Maria Alessandra Mendes, Maria Cecília Zamponi Schafhauser, Luiza Helena Lopes Ribeiro e Regina Tyemi Kishi pelo incentivo, apoio e amizade durante minha vida profissional.

A todos, muita estima e mais agradecimentos.

*“Eu sou o Alfa e o Ômega,
o Primeiro e o Último,
o Princípio e o Fim.”*

(APOCALIPSE 22, 13)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS E CONVENÇÕES	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 VISÃO GERAL	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 A QUESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	3
2.2 PANORAMA GLOBAL	4
2.3 PANORAMA NACIONAL	6
2.4 PANORAMA ESTADUAL	11
2.4.1 Política de Resíduos Sólidos para o Estado do Paraná	12
2.4.2 Situação Paranaense	14
2.5 PANORAMA REGIONAL	16
2.6 LEGISLAÇÃO E NORMATIZAÇÃO	16
2.7 DISCUSSÃO SOBRE TEMAS E DEFINIÇÕES DE ATERRO	19
2.8 O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	24
2.9 FATORES QUE INTERFEREM NA GERAÇÃO DE CHORUME	29
2.10 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS	32
2.11 O TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO MEIO AMBIENTE	39
2.12 MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO SOLO	43
2.12.1 Solução Analítica da Equação 2.13.1	45

2.13	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	48
2.14	AÇÕES MITIGADORAS E REMEDIAÇÃO	55
3.	MATERIAL E MÉTODOS	59
3.1	METODOLOGIA.....	59
3.2	ÁREAS DE ESTUDO	60
3.2.1	Localização e vias de acesso.....	60
3.2.2	Geologia.....	62
3.2.3	Pedologia.....	62
3.2.4	Clima.....	66
3.2.5	Hidrografia, Regime Hídrico e Pluviosidade	71
3.2.5.1	Determinação do balanço hídrico	72
3.2.6	Biota.....	74
3.2.6.1	Fauna	74
3.2.6.2	Flora	75
3.3	ESTUDO DE CASO I - ATERRO MUNICIPAL DE JACAREZINHO	76
3.3.1	Descrição Geral.....	76
3.3.2	Área de influência.....	76
3.3.3	Economia.....	77
3.3.4	Política e Gestão dos Resíduos	77
3.3.5	O aterro municipal de Jacarezinho	79
3.4	ESTUDO DE CASO II - ATERRO MUNICIPAL DE BARRA DO JACARÉ.....	82
3.4.1	Descrição Geral.....	82
3.4.2	Área de influência	83
3.4.3	Economia	83
3.4.4	Política e gestão dos resíduos municipais	83
3.4.5	O Aterro Municipal de Barra do Jacaré	85
3.5	PARÂMETROS DE INTERESSE	90
3.6	ENSAIO DE PERMEABILIDADE	92

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	97
4.1 ESTUDO DE CASO I – JACAREZINHO	97
4.1.1 Discussão de Resultados	97
4.1.2 Aplicação das Leis de Fick	109
4.1.3 Impactos Ambientais do Aterro de Jacarezinho.....	112
4.1.3.1 Impactos no meio físico	113
4.1.3.2 Impactos na biota	118
4.1.3.3 Impactos sócio-econômico-culturais.....	119
4.1.4 Ações Corretivas e Mitigadoras	123
4.2 ESTUDO DE CASO II – BARRA DO JACARÉ	126
4.2.1 Discussão de Resultados	126
4.2.2 Impactos Ambientais na Área de Disposição de Barra do Jacaré	131
4.2.2.1 Impactos no meio físico	132
4.2.2.2 Impactos na biota	135
4.2.2.3 Impactos sócio-econômico-culturais	136
4.2.3 Ações corretivas e mitigadoras	139
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	140
REFERÊNCIAS.....	144
ANEXOS	157
ANEXO 1 – Projeto do Aterro Sanitário de Jacarezinho.....	158
ANEXO 2 – Boletins de Sondagem da Área de Aterro de Jacarezinho.....	159
ANEXO 3 – Boletim de Sondagem do Poço de Abastecimento Público de Barra do Jacaré.....	164

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 –	PARÂMETROS QUÍMICOS TÍPICOS PARA CHORUME.....	26
TABELA 2.2 –	VALORES DE ALGUNS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME DURANTE AS FASES ÁCIDA E METANOGÊNICA	27
TABELA 2.3 –	PROCESSOS E TIPOS DE TRATAMENTO DE CHORUME	28
TABELA 2.4 –	PROCESSOS DE MIGRAÇÃO DE CONTAMINANTES	41
TABELA 2.5 –	MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTAIS	51
TABELA 2.6 –	CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS SELECIONADAS COMO POTENCIALMENTE APTAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	53
TABELA 3.1 –	RESULTADOS DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS REFERENTES ÀS TRÊS ÁREAS INVESTIGADAS NO ESTUDO DE TEIXEIRA & FERNANDES (2003)	70
TABELA 3.2 –	BASE DE DADOS CLIMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE JACAREZINHO.....	72
TABELA 3.3 –	INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	90
TABELA 3.4 –	NORMAS TÉCNICAS RELATIVAS AOS ENSAIOS DE SOLOS	90
TABELA 3.5 –	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO.....	92
TABELA 4.1 –	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO EFLUENTE NAS TRÊS CAMPANHAS	99
TABELA 4.2 –	RESULTADOS DO ENSAIO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL	100
TABELA 4.3 –	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO.....	100

TABELA 4.4 –	RESULTADOS LABORATORIAIS DOS METAIS PESADOS NA ÁREA DE INFILTRAÇÃO DE EFLUENTES NO SOLO	102
TABELA 4.5 –	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS COM OUTROS ESTUDOS.....	99
TABELA 4.6 –	PARÂMETROS UTILIZADOS NA APLICAÇÃO DA LEI DE FICK.....	110
TABELA 4.7–	RESULTADOS ANALÍTICOS DOS METAIS PESADOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO ATERRO DE JACAREZINHO NA SEGUNDA CAMPANHA	115
TABELA 4.8–	RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE JACAREZINHO.....	120
TABELA 4.9 -	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO.....	126
TABELA 4.10 -	RESULTADOS DE METAIS PESADOS EM FURO PRÓXIMO AO ATERRO.....	128
TABELA 4.11 -	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DISTRIBUÍDA EM BARRA DO JACARÉ.....	129
TABELA 4.12 -	NÍVEIS DE METAIS PESADOS NA ÁGUA CAPTADA NO POÇO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO – AMOSTRAS 1 E 2.....	130
TABELA 4.13 -	PARÂMETROS FÍSICO- QUÍMICOS DA ÁGUA CAPTADA NO POÇO	130
TABELA 4.14 –	NÍVEIS DE AGROQUÍMICOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	131
TABELA 4.15 –	RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE BARRA DO JACARÉ.....	137

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1 –	FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE RSU NO BRASIL	8
FIGURA 2.2 –	EVOLUÇÃO DA DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS NO BRASIL	8
FIGURA 2.3 –	PERFIL QUALITATIVO DOS RESÍDUOS GERADOS NO BRASIL	9
FIGURA 2.4 –	DINÂMICA DOS METAIS PESADOS NO SOLO	38
FIGURA 3.1 –	LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE JACAREZINHO E BARRA DO JACARÉ	61
FIGURA 3.2 –	VIAS DE ACESSO	61
FIGURA 3.3 –	GEOLOGIA DO ATERRO DE JACAREZINHO	64
FIGURA 3.4 –	FALHAS E CONTATOS GEOLÓGICOS PRÓXIMOS AO ATERRO	65
FIGURA 3.5 –	PEDOLOGIA DO ATERRO DE JACAREZINHO	69
FIGURA 3.6 –	DEFICIÊNCIA, EXCEDENTE, RETIRADA E REPOSIÇÃO HÍDRICA AO LONGO DO ANO.....	73
FIGURA 3.7 –	BALANÇO HÍDRICO NORMAL MENSAL PARA O MUNICÍPIO DE JACAREZINHO	74
FIGURA 3.8 –	BARRAÇÃO UTILIZADO NA PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS	78
FIGURA 3.9 –	CATADORES REALIZANDO TRIAGEM SOBRE ÁREA DE DESCARGA DE RESÍDUOS	78
FIGURA 3.10 –	CROQUI PLANIALTIMÉTRICO DE LOCALIZAÇÃO DO ATERRO	80
FIGURA 3.11 –	LAGOAS DE TRATAMENTO DE CHORUME	81
FIGURA 3.12 –	TRATOR TRANSPORTADOR DE RSU	84
FIGURA 3.13 –	CAMINHÃO COMPARTIMENTADO UTILIZADO NA COLETA SELETIVA	84

FIGURA 3.14 –	CROQUI DO PROJETO DO ATERRO MUNICIPAL DE BARRA DO JACARÉ	86
FIGURA 3.15 –	VALAS PARA DISPOSIÇÃO DOS RSU EM BARRA DO JACARÉ	87
FIGURA 3.16 -	VALA DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÉPTICOS EM MAIO DE 2004	88
FIGURA 3.17 -	VALA DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÉPTICOS EM MARÇO DE 2005.....	88
FIGURA 3.18 –	PILHA DE RECICLÁVEIS TRIADOS NO ATERRO	89
FIGURA 3.19 –	EXECUÇÃO DE POÇO NO ATERRO DE JACAREZINHO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE	93
FIGURA 3.20 –	MATERIAIS UTILIZADOS PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE DE JACAREZINHO	94
FIGURA 4.1 -	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO – MÉTODO ABNT.....	101
FIGURA 4.2 -	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DNER.....	101
FIGURA 4.3 –	CROQUI DA ÁREA DE INFILTRAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA	102
FIGURA 4.4 –	PERFIL DOS METAIS PESADOS NO PONTO P1	103
FIGURA 4.5 –	PERFIL DOS METAIS PESADOS NO PONTO P2	103
FIGURA 4.6 –	CURVA DE ESTABILIZAÇÃO DE VAZÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DA INFILTRAÇÃO NO SOLO	104
FIGURA 4.7 –	DISPERSÃO DO CHUMBO, PARA AS CONDIÇÕES DE CONTORNO DO ATERRO DE JACAREZINHO, DE ACORDO COM A SEGUNDA LEI DE FICK.....	109
FIGURA 4.8 –	COMPARATIVO ENTRE A DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM 10 DIAS DE OPERAÇÃO	111

FIGURA 4.9 –	COMPARATIVO ENTRE A DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM 1 ANO DE OPERAÇÃO	111
FIGURA 4.10 –	CÉLULAS DE RESÍDUOS CONSIDERADAS ENCERRADAS	113
FIGURA 4.11 –	LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE CAPTAÇÃO EM RELAÇÃO AO ATERRO	114
FIGURA 4.12 –	ÁREA DE INFILTRAÇÃO NO SOLO DO EFLUENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME	116
FIGURA 4.13 –	VALA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÉPTICOS	116
FIGURA 4.14 –	QUEIMADOR DE GASES	117
FIGURA 4.15 –	PRESENÇA DE GRANDE QUANTIDADE DE URUBUS NO ATERRO	118
FIGURA 4.16 -	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO ABNT	127
FIGURA 4.17 -	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DNER	127
FIGURA 4.18 –	MOVIMENTO DOS METAIS PESADOS NO SOLO.....	128
FIGURA 4.19 –	VALAS SEM COBERTURA DIÁRIA COM CAMADA DE ARGILA	132
FIGURA 4.20 -	LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE ABASTECIMENTO MUNICIPAL.....	133
FIGURA 4.21 –	CANAIS DE DRENAGEM NATURAIS	134
FIGURA 4.22 –	VALA DE DISPOSIÇÃO SELADA COM ARGILA.....	134
FIGURA 4.23 –	CORTINA VEGETAL E ACESSOS	135

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

ABES	–	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABGE	–	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	–	Avaliação de Impacto Ambiental
CETESB	–	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA	–	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	–	Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos
GPS	–	Global Position System
IAP	–	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	–	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQR	–	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
LACTEC	–	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
OMS	–	Organização Mundial da Saúde
ONU	–	Organização das Nações Unidas
PIB	–	Produto Interno Bruto
PNSB	–	Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico
RIMA	–	Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
RSU	–	Resíduos Sólidos Urbanos
SANEPAR	–	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	–	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SUDERHSA	–	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SPT	–	<i>Standard Penetration Test</i>
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
UNICEF	–	Fundo das Nações Unidas para a Infância
VMP	–	Valor Mais Provável
UTM	–	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS E CONVENÇÕES

Al	–	Alumínio
Cd	–	Cádmio
CH ₄	–	Gás Metano
COT	–	Carbono Orgânico Total
Cr	–	Cromo
Cu	–	Cobre
CTC	–	Capacidade de Troca Catiônica
DBO ₅	–	Demanda Bioquímica de Oxigênio para 5 dias
d ₁₀	–	Diâmetro tal que o peso de todos os grãos menores constitua 10% do peso total da amostra
DQO	–	Demanda Química de Oxigênio
EDTA	–	Ácido Etilenodiaminatetracético
Fe	–	Ferro
FS	–	Fator de Segurança
Hg	–	Mercúrio
K	–	Permeabilidade do solo
N	–	Nitrogênio
N _{Am.}	–	Nitrogênio Amoniacal
N _{org.}	–	Nitrogênio Orgânico
ND	–	Não detectável
NO ₂	–	nitrito
NO ₃	–	nitrato
OD	–	Oxigênio Dissolvido
P	–	Fósforo Total
Pb	–	Chumbo
pH	–	Potencial Hidrogeniônico
ppm	–	Partes por milhão
SS	–	Sólidos Suspensos
SSF	–	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	–	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	–	Sólidos Totais
STF	–	Sólidos Totais Fixos
STV	–	Sólidos Totais Voláteis
STV	–	Sólidos Totais Voláteis
u.c.	–	Unidade de concentração
w _{ot}	–	Umidade Ótima
γ _{d máx}	–	Peso Específico seco máximo
VES	–	Sondagens Elétricas Verticais
Zn	–	Zinco

RESUMO

Com a finalidade de avaliar até que ponto as classificações e práticas adotadas pela engenharia e gestão pública são eficientes, foi realizado o diagnóstico ambiental de dois aterros municipais de disposição de resíduos, um em Jacarezinho e outro Barra do Jacaré, no Estado do Paraná, Brasil. Estes aterros estão localizados em uma região carente de estudos científicos e apoio tecnológico. A pesquisa levantou aspectos ambientais para a identificação dos impactos ambientais correlatos. O levantamento dos aspectos ambientais estendeu-se dos levantamentos bibliográficos aos ensaios laboratoriais, passando por ensaios de campo e modelagem matemática. Como resultados parciais, foi determinada a caracterização físico-química do chorume e dos efluentes do sistema de tratamento de chorume, assim como a caracterização físico-química dos solos locais. A identificação dos impactos ambientais permitiu o aprofundamento das investigações geoambientais a fim de caracterizar, de modo preliminar, as duas áreas de estudo. A percolação de chorume é a principal forma de contaminação de solos e águas por aterros de resíduos, sendo a ausência de poços e programas de monitoramento os fatores responsáveis pelo desconhecimento desta situação. A pesquisa apontou que a concepção do aterro acontece, normalmente, de forma apropriada estando as principais falhas relacionadas aos modos como os aterros são operados e geridos. Os resultados mostram que o enquadramento dado pelos órgãos ambientais nem sempre condiz com a realidade, podendo um aterro enquadrado como sanitário impactar mais o meio ambiente do que um lixão.

Palavras-chave: Aterro Sanitário, Impacto Ambiental, Resíduos Sólidos, Chorume

ABSTRACT

With the purpose of evaluating to what extent the classifications and practices adopted by the engineering and public administration they are efficient, it took place the environmental diagnosis of two municipal landfills in Jacarezinho and Barra do Jacaré, Paraná, Brazil. These landfills are located in a lacking area of scientific studies and technological support. The research lifted environmental aspects for identification of the related environmental impacts. The rising of the environmental aspects extended from bibliographical risings to laboratory rehearsals, going by field rehearsals and mathematical modeling. As partial results, it was obtained the physical-chemical characterization of the leachate and of the output of the system of leachate treatment, as well as the physical-chemical characterization of the local soils. The identification of the environmental impacts allowed goes deeper in the environmental investigations in order to characterize, in preliminary way, the two study areas. The leachate infiltration is the main form of contamination of soils and waters in landfill's areas, being the absence of wells and monitoring programs the responsible for the ignorance of this situation. The research pointed that the conception of the landfills happens, usually, in an appropriate way being the principal flaws related to the manners as the landfill's are operated and managed. The results show that the classification given by the environmental organs not always corresponds to the reality, being able to a landfill classified as safe be more dangerous to the environment of an old unlined landfill.

Key-words: Landfill, Environmental Impact, Solid Urban Waste, Leachate

1. INTRODUÇÃO

1.1. VISÃO GERAL

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) pode provocar sérios danos ao meio ambiente. A técnica de disposição dos RSU no solo é a mais empregada em termos globais, por constituir-se uma forma relativamente barata. A disposição inadequada dos RSU pode causar o comprometimento da qualidade de mananciais hídricos e solo, da qualidade de vida antrópica, entre outros problemas. Por requererem grandes áreas para implantação, as formas de disposição no solo têm sido empregadas com dificuldade pelas administrações públicas. Problemas de mau-cheiro, geração de ruídos, tráfego, proliferação de vetores e desvalorização imobiliária são apenas alguns dos motivos pelos quais a população tem repulsa a um empreendimento como este próximo a suas residências.

Aterros sanitários são estruturas capazes de abrigar RSU por vários anos, até que estes sejam degradados e inertizados. Se, por um lado, a matéria orgânica é facilmente decomposta pela ação biológica, por outro, observa-se que compostos inorgânicos, dentre eles os metais pesados, levam muitos anos para sua degradação. Levantamentos e estudos científicos anteriores serviram de agente motivador desta pesquisa. As áreas de estudo, as áreas de disposição de RSU de Jacarezinho e Barra do Jacaré, são consideradas adequadas segundo órgãos públicos e estudos científicos anteriores. O diagnóstico ambiental tem o intuito de revelar quais as fragilidades a que cada área está sujeita, possibilitando que sejam providenciadas ações corretivas para conservação da qualidade ambiental.

Um dos motivadores deste trabalho foi o estudo realizado por RAMOS (2004), que constatou que a classificação adotada para as áreas de disposição de RSU no Estado do Paraná pelo órgão ambiental responsável, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), não é coerente com a realidade identificada nestes locais. Ao final da pesquisa, buscou-se comprovar que os critérios técnicos utilizados atualmente no Paraná não asseguram que a operação dos aterros esteja sendo realizada em condições adequadas e que realmente não impactam significativamente o meio ambiente e a saúde pública.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é diagnosticar e avaliar a situação ambiental de áreas de disposição de resíduos municipais. Para alcançar este objetivo serão utilizadas duas áreas de disposição, uma no município de Jacarezinho e outra no município de Barra do Jacaré, ambas pertencentes à região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná. No âmbito deste estudo, cabe ainda apontar falhas de concepção e operação e propor medidas que possam mitigar, minimizar ou remediar os efeitos sobre o meio ambiente da atividade de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo. Para que o objetivo geral seja alcançado, alguns objetivos específicos devem ser atingidos. Consideram-se objetivos específicos deste trabalho:

1. A caracterização das áreas de estudo, incluindo a caracterização do meio físico, biótico e sócio-econômico-cultural.
2. A caracterização do chorume e dos afluentes e efluentes do sistema de tratamento de chorume existente no aterro de Jacarezinho.
3. Avaliação do comportamento da área de infiltração no solo do efluente do sistema de tratamento de chorume, principalmente no que concerne aos metais pesados, através de modelagem matemático-computacional simplificada.
4. Identificar os impactos ambientais da atividade de disposição de RSU no solo nas duas áreas de estudo.
5. Apontar medidas corretivas e mitigadoras para que as municipalidades possam melhorar a qualidade ambiental de suas áreas de disposição de resíduos.
6. Encontrar falhas no método de enquadramento das áreas de disposição paranaenses pelos órgãos ambientais.
7. Alertar as municipalidades para a importância da gestão adequada dos RSU.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A QUESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Desde o surgimento do homem na Terra, a frequência e os tipos de impactos ambientais têm aumentado e diversificado. O primeiro tipo de impacto causado pelo homem provavelmente derivou-se do domínio do fogo. À medida que a espécie humana foi desenvolvendo novas tecnologias e ampliando seu domínio sobre os elementos e a natureza em geral, os impactos ambientais foram se ampliando em intensidade e extensão (BRANCO, 1988, citado por LOPES, 2003).

Ao longo da história a má disposição dos resíduos trouxe muitos problemas relativos à saúde pública. A peste bubônica, a cólera e a febre tifóide, para citar algumas, foram doenças que afetaram as populações da Europa e influenciaram monarquias. Estes males foram perpetuados em função da disposição inadequada dos resíduos, tendo facilitado a proliferação de vetores e contaminado fontes de água (RAMOS, 2004).

A devastação dos recursos naturais e a urbanização poluidora que se seguiu à Revolução Industrial a partir do século XVIII, aliado ao desenvolvimento tecnológico, deram origem a diversos resíduos com as novas atividades do homem, que passou a utilizar os mais variados materiais em seus hábitos de consumo (PARANÁ, 2003; FRANCO, 2001).

A coleta e a disposição dos RSU, juntamente com a disponibilidade de água para uso potável, pode ser considerada como um dos grandes problemas a ser resolvido pelas administrações públicas nas próximas décadas. Portanto, para garantir as condições de existência das futuras gerações, sem deixar de atender às necessidades das atuais, deve haver um compromisso entre os setores industriais e a sociedade em relação às práticas de produção e de consumo (ONU, 1992, 2003). O ideal seria: reduzir a geração de resíduos, através de mudanças de atitude da população e de práticas para evitar ou minimizar o desperdício; aumentar o máximo possível a reciclagem e a reutilização de materiais, além do desenvolvimento e implantação de

programas visando a recuperação de recursos através da compostagem dos resíduos orgânicos (PARANÁ, 2003).

A tendência é que, por ser uma forma de disposição relativamente barata, os aterros de resíduos continuarão, principalmente em países subdesenvolvidos, a existir e por conseguinte, a busca pelo aterro sanitário sustentável deve ser uma constante. ALLEN (2001) o define como a segura disposição do resíduo em um aterro, e sua subsequente degradação até o estado inerte no menor tempo possível, utilizando-se da forma mais econômica possível, com o mínimo dano ao meio ambiente (RIVETT, 2002; BENVENUTO, 2004).

2.2 PANORAMA GLOBAL

O crescente processo de industrialização dos alimentos e a incorporação de novos hábitos alimentares, neste contexto passaram a gerar cada vez mais embalagens, com diferentes tipos de materiais, principalmente plásticos, metais e alumínio. A mudança de hábitos culturais das sociedades modernas também trouxe um aumento na quantidade de resíduos sólidos, a maioria dos quais não-biodegradável ou de degradação extremamente lenta (JAIN *et al.*, 2004; PARANÁ, 2003).

Há dois séculos atrás, em 1800, apenas 5 em cada 100 habitantes do mundo viviam nas cidades. Hoje de cada 100 habitantes, 40 estão nas áreas urbanas. Essa concentração de pessoas com hábitos desenfreados de consumo geram um crescente volume de resíduos (PARANÁ, 2003). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (2000), na América Latina:

- 1975 - 198 milhões de pessoas viviam na zona urbana (62%).
- 1990 – A população urbana passou para 323 milhões (72%), ou seja, em 15 anos a população que necessita de coleta e disposição final de seus resíduos sólidos, cresceu 63%.
- 2000 - A população da América Latina chegou a 540 milhões, dos quais 460 milhões (85%) vivem nas cidades.

Em 26 de abril de 1999, a União Européia regulamentou uma série de critérios técnicos a fim de melhorar as condições de aterramento dos RSU. (CASTILLO& BARCELÓ, 2001). Dados de 2002 da EPA/EUA (citado por JAIN, 2004) revelaram que cerca de 55% dos resíduos gerados pela população norte-americana são dispostos em aterros. Esta é a realidade de um país industrializado, sendo em países subdesenvolvidos esta técnica, ou prática, adotada para quase a totalidade dos resíduos gerados.

Até pouco tempo, os aterros ou valas de disposição de resíduos eram, no mundo todo utilizados segundo práticas condenáveis, sob o ponto de vista técnico, pela comunidade técnica e científica atual. Estima-se que existam nos países que compreendem a Comunidade Européia cerca de 250.000 áreas de disposição abandonadas ou extintas. Em toda a Europa, chegariam a 50.000 as áreas que contaminam ou possuem potencial para poluir efetivamente o meio ambiente (CASTILLO& BARCELÓ, 2001).

Os resíduos urbanos no Brasil apresentam características diferentes de uma região para outra em sua composição física, atingindo em média 50 % de matéria orgânica, e geração *per capita* de aproximadamente 0,74 kg / hab / dia, sendo estes valores típicos de países em desenvolvimento (BISORDI *et al.*, 2004). Resíduos com as características mencionadas acima geram lixiviados com alta capacidade de provocar poluição orgânica quando disposto no solo na forma de lixão, necessitando intervenção, porém sabe-se que a tendência da contaminação orgânica declina a medida que o maciço de resíduos atinge a maturação biológica.

Nos países industrializados, as áreas contaminadas conhecidas como “*brownfields*” apresentam poluição não somente por resíduos orgânicos, mas principalmente por resíduos químicos oriundos das indústrias, necessitando assim intervenções mais complexas para alcançar a remediação. Independente do tipo de contaminação (biológica ou química) da área em estudo, o projeto de recuperação do aterro necessariamente deve diagnosticar o passivo ambiental estudando as variáveis relativas ao meio (BISORDI *et al.*, 2004).

A necessidade de se preservar a qualidade das águas subterrâneas é uma forte motivação para que as nações de terceiro mundo adotem uma fiscalização efetiva sobre o modo como seus resíduos são gerenciados. Cabe aos países de primeiro mundo desenvolver tecnologias e dar suporte tecnológico com soluções ambientais e economicamente mais viáveis. Deve-se levar em conta que nem toda água subterrânea é passível de preservação. Apenas os aquíferos mais importantes e de maior capacidade de fornecimento de água deveriam ser contemplados, mesmo em planos diretores de longo prazo, ficando o restante das áreas passível de outros usos (ALLEN, 2001).

Soluções naturais, que empregam as características hidrogeológicas de sub-superfície para atenuação, são totalmente ignoradas pelas estratégias de gerenciamento de resíduos. Não constam nas leis européias que regulam a disposição de resíduos qualquer consideração acerca desta alternativa, sendo na maioria dos outros países esta prática proibida (ALLEN, 2001). No mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros sanitários representam a principal destinação final dos resíduos sólidos, apesar do imenso esforço em se reduzir, reutilizar e reciclar. Apesar da contradição, em vários países, o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a um tratamento adequados dos resíduos (JUCÁ, 2004).

2.3 PANORAMA NACIONAL

O serviço sistemático de limpeza urbana foi iniciado oficialmente no Brasil em 25 de novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, então capital do Império. Nesse dia, o imperador D. Pedro II assinou o Decreto nº 3024, aprovando o contrato de "limpeza e irrigação" da cidade, que foi executado por Aleixo Gary e, mais tarde, por Luciano Francisco Gary, de cujo sobrenome origina-se a palavra gari, que hoje se denomina os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras (IPT, 1998).

A questão dos resíduos sólidos no Brasil tem sido amplamente discutida na sociedade, a partir de vários levantamentos da situação brasileira e perspectivas para o

setor. De uma forma geral, este assunto permeou por várias áreas do conhecimento, desde o saneamento básico, meio ambiente, inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem dos materiais, e mais recentemente, ainda de forma insipiente, o aproveitamento energético dos gases provenientes dos aterros sanitários (JUCÁ, 2004).

No Brasil, a disposição desses resíduos ocorre freqüentemente sem atentar para as condições do local de despejo, ou seja, não ocorre nenhum tratamento prévio à instalação, durante a operação ou após o término das operações. Este procedimento acarreta uma série de problemas, principalmente, de natureza sanitária e ambiental, como a poluição e contaminação do solo e das águas de superfície e de sub-superfície, dentre outros. O país carece de estudos nesta área (MACAMBIRA *et al.*, 2002; CINTRA, 2002).

De acordo com a Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico - PNSB (2000), se coleta cerca de 228.413 toneladas de resíduos sólidos diariamente, sendo 125.258 toneladas referentes aos resíduos domiciliares (JUCÁ, 2003; BISORDI *et al.*, 2004). No Sul do país, 25,9% dos resíduos sólidos são dispostos em vazadouros a céu aberto, 24,3% em aterros controlados, 40,5% em aterros sanitários e o restante possui outras destinações. Segundo o Ministério das Cidades, quanto menor o município, mais crítica é a situação, sendo que 63,3% dos municípios brasileiros possuem população de até 15 mil habitantes, os quais geram uma quantidade diária de 13.967 toneladas de resíduos, ou seja, quase 10% do total gerado no país, deste total 70,44% seguem para os lixões.

Efetivamente, as pequenas comunidades, cujo número de habitantes é menor que 20.000 (73% dos municípios brasileiros), carecem de informações técnicas sobre métodos de disposição final adequado a sua realidade, no que diz respeito aos aspectos de projeto, execução, operação e monitoramento ambiental (BENVENUTO, 2004).

A disponibilidade de áreas livres, os baixos custos de construção e operação quando comparados a outros sistemas e à utilização do biogás como fonte de energia alternativa tornam os aterros sanitários uma das mais interessantes alternativas para a disposição dos RSU no Brasil. Em oposição ao que foi dito, o panorama nacional era,

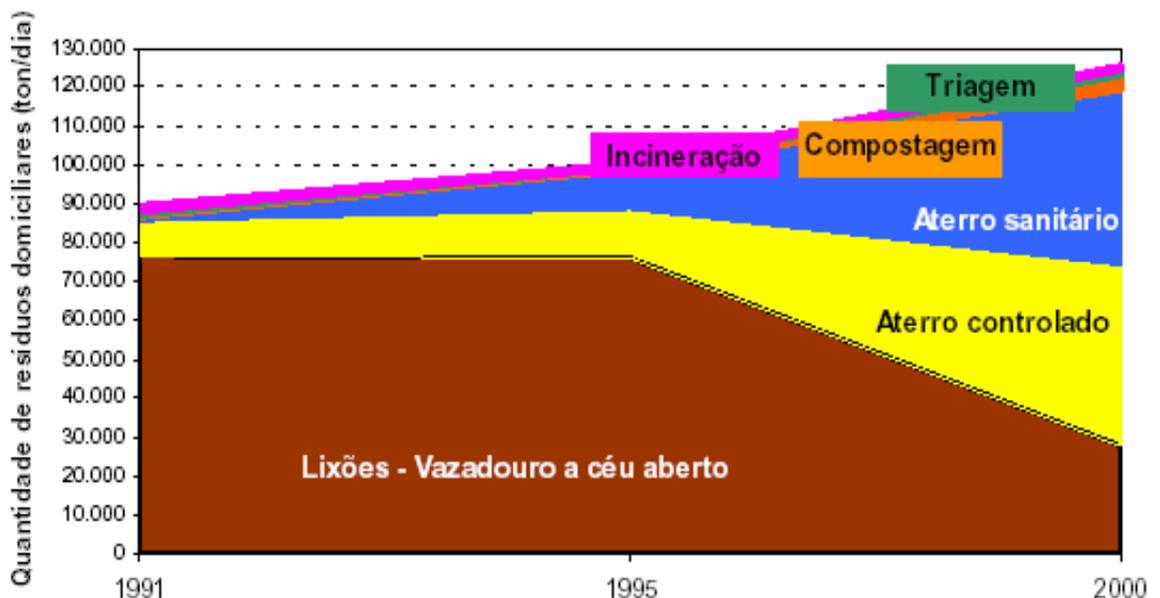
até 2002, composto predominantemente por lixões a céu aberto, como é mostrado nas Figuras 2.1 e 2.2 (BENVENUTO, 2004; VAZOLLER, 2001; BISORDI *et al.*, 2004).

FIGURA 2.1 – FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE RSU NO BRASIL



FONTE: IPT/CEMPRE (2002)

FIGURA 2.2 – EVOLUÇÃO DA DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS NO BRASIL



FONTE: JUCÁ, 2002

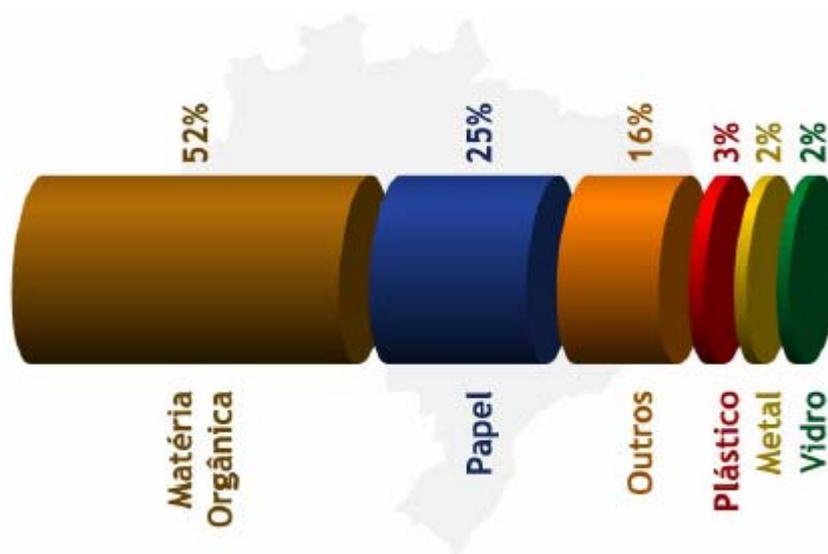
A geração total de resíduos em municípios com geração menor que 10 t/dia, no Estado de São Paulo, é estimada em 2.201 t /dia ou 803.915 t/ano. A emissão de gás metano pode ser adotada da ordem de 15 l/kg/ano de resíduos, resultando em

12.058.725 m³/ano, que corresponde a 8.923 t/ano de emissão de metano na atmosfera (BENVENUTO, 2004).

Da mesma forma, o aterro em valas, se adotado indiscriminadamente por esses municípios, com taxa de utilização máxima de 1,0 t/m² de resíduo disposto, ocupando cerca de 803.915 m² por ano (80,39 ha = 33,2 alqueires/ano) de áreas líquidas impedidas para outros usos. Esse é um dos grandes inconvenientes de uso da solução de aterros em valas, onde grandes áreas são impactadas ao longo do tempo. Apenas para terminar o contraponto, se considerado um grande aterro em camadas com recepção de 2.370 t/dia de resíduos por um período de 25 anos ocupando uma área de cerca de 583.000 m², impactaria por ano 23.320 m², ou seja, menos de um alqueire paulista por ano (BENVENUTO, 2004).

A produção de gás metano em aterros de resíduos sólidos de municípios de pequeno porte brasileiros, com cerca de 2000 habitantes, está na faixa de 91,5 L CH₄ / kg STV – sólidos totais voláteis (VAZOLLER, 2001). A constituição qualitativa média do lixo brasileiro pode ser discriminada como na Figura 2.3.

FIGURA 2.3 - PERFIL QUALITATIVO DOS RESÍDUOS GERADOS NO BRASIL



FONTE: IPT/CEMPRE (2002)

O Estado vem tentando intervir neste processo fiscalizando, através de seus órgãos ambientais, as empresas responsáveis pela construção e operação dos aterros. A análise de critérios ambientais no município é uma atividade que deveria ser

considerada como fundamental para a gestão municipal, não apenas para a gestão dos resíduos sólidos, mas para todas as atividades do município (CASTILHOS Jr., 2003).

Como a gestão de resíduos urbanos é uma atividade essencialmente municipal e as atividades que a compõem se restringem ao território do município, não são muito comuns no Brasil as soluções consorciadas, mesmo quando se trata de destinação final em aterros (JUCÁ, 2002). Os aterros sanitários existentes no país são na sua maioria operados pela iniciativa privada, contratada pelas prefeituras ou empresas municipais, sob a forma de terceirização. Neste sentido, as prefeituras pagam pela quantidade, em peso, de lixo depositado no aterro (R\$/tonelada) (JUCÁ, 2002; BISORDI *et al.*, 2004).

No setor público fica a necessidade de uma política de resíduos sólidos em todos os níveis, integrando Federação, Estado e Municípios definindo diretrizes técnicas e, principalmente, oferecendo linhas de financiamento para a recuperação das áreas degradadas com resíduos. Para o setor privado estaria reservada a parcela do desenvolvimento e aplicação de tecnologias adequadas para a recuperação das áreas impactadas com o objetivo de transformar o local em um espaço com condições de ser reutilizado pela população, após intervenção. O setor privado também teria a responsabilidade de buscar novas tecnologias tanto no momento da implantação dos serviços e obras de remediação como também no monitoramento da área ao longo do tempo, sobretudo após o encerramento do aterro sanitário transformado (BISORDI *et al.*, 2004; JUCÁ, 2002).

A sociedade pode intervir neste processo através da exigência de produtos menos nocivos ao ambiente, implantação de políticas de qualidade que visem a minimização da geração de resíduos na fonte, participação de programas de reciclagem, organização de entidades não-governamentais, entre outras formas. A elevada quantidade de resíduos sólidos gerados no Brasil não é compatível com a políticas e os investimentos públicos para o setor. Observa-se que há um longo caminho para se trilhar, onde a capacitação técnica e a conscientização da sociedade são fatores determinantes. Neste sentido a gestão integrada dos resíduos sólidos tem sido uma ferramenta inovadora e eficaz no contexto brasileiro (JUCÁ, 2002).

2.4 PANORAMA ESTADUAL

A colonização do Estado do Paraná teve início no Século XVI, quando diversas expedições estrangeiras percorreram a região à procura de madeira de lei. A medida em que os ciclos do ouro, da erva-mate, da madeira e do café foram se desenvolvendo, o Estado do Paraná passou a ser urbanizado e desmembrado em diversos municípios. Com o passar dos anos o Paraná, conhecido como celeiro agrícola do país, preservou características de intensa produção agrícola atrelada a adensamentos populacionais urbanos.

Segundo o Governo do Estado do Paraná, até 1995, cerca de 95% dos municípios dispunham seus R.S.U. a céu aberto, em lixões. Existiam apenas dois aterros sanitários em todo o Estado: Lamenha Pequena e Cascavel. Em função deste diagnóstico, o Governo do Estado elaborou um projeto de Lei Estadual específico para resíduos sólidos, a Lei nº 12.493, que foi aprovada pela Assembléia Legislativa do Estado e sancionada pelo Executivo em 22 de Janeiro de 1999. Publicada no Diário Oficial Nº 5430 de 05/02/99, estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e minimização de seus impactos ambientais (SUDERHSA, 2002).

Em termos quantitativos, o Estado do Paraná apresentava, segundo dados coletados em 2000, pelo IBGE, uma quantidade média total de resíduos coletados de 7.543 t/dia, dos quais 61% (4.603 t/dia) possuem destinação final inadequada. Este quadro alarmante requer uma avaliação detalhada da situação, como é proposto neste trabalho.

2.4.1 Política de Resíduos Sólidos para o Estado do Paraná

O Estado do Paraná teve sua paisagem profundamente alterada desde o início de sua colonização, essencialmente agrícola. As políticas públicas, em geral, voltadas ao tratamento dos resíduos têm se restringido a coleta e transporte, sem a preocupação quanto à forma e ao tratamento final, dos resíduos sólidos gerados (PARANÁ, 2003).

Desenvolvimento social, garantia de saúde e bem-estar das populações estão ligados diretamente ao Saneamento Ambiental. Sem uma Política de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos, não será possível evitar a deterioração do meio ambiente, que já alcança níveis extremamente preocupantes. Grande parte do problema da degradação ambiental é ocasionada pelo tratamento inadequado dos resíduos sólidos nos centros urbanos, especialmente quanto à sua disposição. Segundo as estatísticas da ONU, a população rural começará a declinar, causando inúmeros problemas sócio-econômicos, na maioria das cidades (PARANÁ, 2003).

Segundo estimativas do governo estadual (PARANÁ, 2003), o Paraná possui população de 9.563.458 habitantes, sendo 7.786.084 hab na zona urbana, proporcionando uma geração de resíduos urbanos (incluindo os resíduos de construção civil) de aproximadamente 8.000 t/dia. A Política de Resíduos Sólidos no Estado do Paraná estabelece a eliminação de 100% dos lixões no Estado do Paraná e a redução de 30% dos resíduos gerados, através da convocação de toda sociedade, objetivando: mudança de atitude, hábitos de consumo, combate ao desperdício, incentivo a reutilização, reaproveitamento dos materiais potencialmente recicláveis através da reciclagem.

O Governo do Estado do Paraná julga que para isto ser alcançado devem ser implementadas as seguintes ações:

- Estimular o estabelecimento de parcerias entre o Poder Público, setor produtivo e a sociedade civil, através de iniciativas que promovam o desenvolvimento sustentável.

- Implementar a gestão diferenciada para resíduos domiciliares, comerciais, rurais, industriais, construção civil, de estabelecimentos de saúde, podas e similares e especiais.
- Estimular a destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos de forma compatível com a saúde pública e conservação do meio ambiente.
- Implementar programas de educação ambiental, em especial os relativos a padrões sustentáveis de consumo.
- Adotar soluções regionais no encaminhamento de alternativas ao acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos.
- Estimular a pesquisa, desenvolvimento, a apropriação, a adaptação, o aperfeiçoamento e o uso efetivo de tecnologias adequadas ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos.
- Capacitar gestores ambientais, envolvidos em atividades relacionadas no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos.
- Instalar grupos de trabalhos permanentes para acompanhamento sistemático das ações, projetos, regulamentações na área de resíduos.
- Estimular, desenvolver e implementar programas municipais relativos ao gerenciamento integrado de resíduos.
- Licenciar, fiscalizar e monitorar a destinação adequada dos resíduos sólidos, de acordo com as competências legais.
- Promover a recuperação do passivo ambiental, oriundos da disposição inadequada dos resíduos sólidos.
- Preservar a qualidade dos recursos hídricos pelo controle efetivo e pelo levantamento periódico dos descartes de resíduos em áreas de preservação ambiental.
- Estimular a implantação de unidades de tratamento e destinação final de resíduos industriais.
- Estimular o uso, reuso e reciclagem, com a implantação de usinas, visando o reaproveitamento dos resíduos inertes da construção civil.

- Estimular a implantação de programas de coleta seletiva e reciclagem, com o incentivo a segregação integral de resíduos sólidos na fonte geradora.
- Estimular ações relacionadas aos resíduos gerados nas zonas rurais, priorizando o destino das embalagens vazias de agrotóxicos e a suinocultura.

2.4.2 Situação Paranaense

Dentre as técnicas apresentadas para destinação final dos resíduos, a tecnologia mais econômica e que vem de encontro à Legislação e a realidade da situação sócio-econômica dos municípios paranaenses é a forma de aterro sanitário, sendo esta, a técnica mais recomendada atualmente no país.

Atualmente, de acordo com o levantamento estadual, cerca de 70% dos resíduos urbanos gerados no Estado, é destinado adequadamente. De acordo com os levantamentos realizados, 211 municípios paranaenses já dispõem seus resíduos urbanos em aterros sanitários, a maioria deles já operando e outros em fase final de implantação. Desse total, 114 aterros sanitários foram implantados com recursos oriundos de financiamento junto à Caixa Econômica Federal, através do Programa Pró Saneamento – Modalidade Resíduos Sólidos. Com a constituição de 2 consórcios intermunicipais dentro deste programa, esses aterros atendem atualmente a 116 municípios (PARANÁ, 2003).

Os demais 95 municípios buscaram fontes alternativas de recursos, visando solucionar o problema ambiental decorrente da disposição final inadequada de seus resíduos. De acordo com os levantamentos realizados, esses municípios são atendidos por 77 aterros sanitários, dos quais 64 encontram-se concluídos e 13 em fase final de execução.

No Paraná, um dos principais desafios a ser vencido na área ambiental, será dar a destinação final adequada aos resíduos sólidos urbanos gerados em todos os municípios do Estado, bem como, a recuperação dos passivos ambientais através de tecnologias adequadas. Dentre as técnicas recomendadas, a proposta baseia-se no incentivo a implantação de aterros sanitários nos municípios que ainda destinam

inadequadamente seus resíduos sólidos urbanos, buscando soluções isoladas ou regionalizadas entre os municípios.

Com a eliminação de todos os lixões existentes no Estado, um grande passo estará sendo dado em direção à preservação do meio ambiente, a melhoria da qualidade de vida e da saúde do povo paranaense, bem como propiciará a retirada de famílias que hoje vivem em lixões, em condições sub-humanas, dando-lhes oportunidades dignas de trabalho e de saúde, através da implementação de programas específicos de coleta seletiva e reciclagem.

Os projetos a serem desenvolvidos, deverão se adequar à realidade de cada município, considerando desde o tipo de solo e a população urbana, até os instrumentos técnicos e financeiros disponibilizados pelas administrações municipais. As obras a serem implantadas deverão ser projetadas e executadas de acordo com as normas vigentes e as tecnologias mais modernas do país compatibilizadas com o sistema de tratamento dos efluentes (chorume), o isolamento da área através de implantação de cerca e cortina arbórea, sistema de drenagem de águas pluviais e poços de monitoramento do lençol freático, entre outros (PARANÁ, 2003).

O Governo Paranaense entende que para os municípios que ainda dispõem seus resíduos urbanos em lixões adequem-se a Lei Estadual 12.493/99, devam ser implementadas as seguintes ações:

- Elaboração de EIA-RIMA (de acordo com o disposto na Resolução do CONAMA 308/02 e outras;
- Elaboração de projetos de aterros sanitários
- Implantação de obras de infra-estrutura nos aterros sanitários incluindo: cercamento da área, cortina arbórea, sistema de drenagem pluvial, sistema de coleta de chorume e tratamento de efluentes, sistema de coleta de gases, células de disposição dos resíduos, vias de acesso, poços de monitoramento, entre outras;

2.5 PANORAMA REGIONAL

Os municípios que abrigam as áreas deste estudo se encontram no chamado Norte Pioneiro do Estado do Paraná. Esta é uma das regiões mais pobres do estado e carece tanto de políticas públicas como de subsídios tecnológico-científicos, um dos agentes motivadores deste estudo. Como forma de disposição final dos resíduos dos dois municípios supracitados tem-se utilizado valas ou aterros sanitários.

O principal fator que pode levar ao insucesso da disposição manual, em valas ou em trincheiras é o subdimensionamento dos sistemas, de forma a impactar grandes áreas com pouco tempo de vida útil do aterro. A contaminação dos solos e das águas subterrâneas necessita ser avaliada, pois apesar de se ter pouca espessura de resíduos nas valas, cerca de 2,0 m por vala finalizada, existe o fenômeno de percolação de água de chuva pelas coberturas e, conseqüentemente a geração de percolados lixiviando essas espessuras de resíduos, principalmente em municípios com balanço hídrico positivo. Acrescente-se a isso a emissão de gases do tipo metano que contribui para o aumento do efeito estufa, muito mais que o gás carbônico (BENVENUTO, 2004).

2.6 LEGISLAÇÃO E NORMATIZAÇÃO

No Brasil, a década de 30 marcou o início das ações governamentais sobre política ambiental com a adoção do Código das Águas e do Código Florestal em 1934. Em 1938, foi adotado o Código de Pesca. Nesta fase a preocupação dos legisladores recaiu sobre a proteção da flora, da fauna e dos recursos naturais, não tendo sido, entretanto, estabelecido o co-relacionamento entre os problemas ambientais e o processo de desenvolvimento econômico (SOUZA, 2000, citado por RAMOS, 2004). A efetiva preocupação com a questão ambiental só teve início em 1973 quando foi institucionalizado um sistema nacional com a criação da SEMA, que foi o órgão gestor da Política Ambiental Nacional, até a criação do Ministério do Meio Ambiente (RAMOS, 2004).

A década de 80 foi caracterizada pela implementação da Política Nacional de Meio Ambiente, com a Lei Federal nº 6.938, de agosto de 1981, que teve como

prioridade unir as questões ambientais às necessidades do desenvolvimento urbano-industrial, as diretrizes desta política foram iniciadas na década de 70. Esta instituiu além do licenciamento ambiental, a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental. Também foi criado o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, sendo este formado por representantes do governo federal, dos governos estaduais e da sociedade civil, instituído por lei e com autoridade normativa para discutir e elaborar regulamentos específicos ao meio ambiente.

Os órgãos de controle ambiental, com base na aplicação do instrumento de licenciamento ambiental ao longo do tempo, vêm direcionando esforços no sentido de associar ações de licenciamento às de gestão ambiental, na perspectiva de reverter a visão atual do licenciamento que é focada apenas no controle e no exercício do poder de polícia (GOMES, 2004).

A constituição de 1988 foi o marco definitivo para a questão ambiental, pois dedica um capítulo inteiro - Capítulo V - ao tema, e especifica responsabilidades entre União e Estados. Esta estabelece, em seu Artigo 23, inciso VI, que “compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas forma”. Além da Constituição Federal, o Brasil dispõe de legislação que trata da questão dos resíduos sólidos urbanos, por meio de leis, decretos, portarias, embora, muitas vezes estas sejam insuficientes para equacionar o problema. (IPT, 1998).

O licenciamento ambiental, importante instrumento de controle, criado pela Lei Federal nº 6938/81. A II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, teve como temas principais o desenvolvimento sustentável e a degradação ambiental.

Uma série de convenções, acordos e protocolos foram firmados durante a conferência. O mais importante deles, a chamada Agenda 21, comprometia as nações signatárias a adotar métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica, criando um Fundo para o Meio Ambiente, para ser o suporte financeiro das metas fixadas. A Agenda 21 é um documento consensual para o qual contribuíram

governos e instituições da sociedade civil dos 179 países, participantes na tentativa de promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento, conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

Dez anos mais tarde, houve uma nova conferência mundial a fim de rever o cenário ambiental planetário e planejar ações para tornar o desenvolvimento global ambientalmente mais sustentável. A Cúpula Mundial de Desenvolvimento Sustentável, que se reuniu em Johannesburgo, constatou que os objetivos propostos em 1992 não haviam sido atingidos e questionaram em seu Plano de Ações a queda da qualidade ambiental planetária, fazendo críticas severas aos países desenvolvidos que optaram por não aderir aos Protocolos anteriores.

Por sua vez, a Lei de Crimes Ambientais, Lei Federal no 9.605, de 1998, agilizou e deu maior eficácia à punição de infratores, além de ter estabelecido penas mais severas a crimes contra o meio ambiente. Esta Lei consolidou a legislação ambiental, que até então se apresentava de forma dispersa e era de difícil aplicação. Como marca da evolução sócio-econômica, definiu a responsabilidade da pessoa jurídica, inclusive a penal, que até então não podia ser responsabilizada criminalmente e define crime ambiental como causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora (BRASIL, 2003).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão brasileiro oficial responsável por elaborar e desenvolver normas técnicas, a serem seguidas por todos os profissionais e técnicos, inclusive na área de resíduos sólidos. Para projetos de aterros destacam-se as seguintes normas: NBR 8.419/92 e NB 843/92 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, NBR 13.896, de 1997 - Aterros de Resíduos não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação, NBR - 13.221, de 1994 - Transporte de Resíduos - Procedimento, NBR 9.191/93 - Sacos plásticos para acondicionamento de lixo, NBR 9690/96 - Mantas de Polímeros para impermeabilização (PVC) - Especificação, entre outras.

Para a caracterização dos resíduos sólidos são utilizadas as NBR 10.004 - Resíduos Sólidos Classificação, NBR 10.005/87 - Lixiviação de Resíduos, NBR 10.006 - Solubilização de resíduos, NBR 10.007 - Amostragem de resíduos. Como, muitas vezes, os resíduos de serviços de saúde são co-dispostos com os resíduos domiciliares, há que se considerar as NBR 12.807/93 - Resíduos de serviços de saúde, NBR 12.808/93 - Resíduos de serviços de saúde, NBR 12.809 - Manuseio de resíduos de serviço de saúde, NBR 12.810 - Coleta de resíduos de serviço de saúde.

Apesar de as leis existirem, as próprias prefeituras não as cumprem, haja vista que cerca de 80% das mais de 100.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente no Brasil serem depositados diretamente em lixões (LOPES, 2003). Nas diferentes esferas governamentais, as iniciativas para implementação de Políticas de Gestão de Resíduos Sólidos ainda são recentes ou inexistentes. Estes possibilitariam estabelecer objetivos, diretrizes e instrumentos em consonância com as características sociais econômicas, culturais de estados e municípios.

A normatização e a fiscalização por parte de órgãos ambientais e sociedade vêm tentando atenuar os impactos causados pela geração excessiva e disposição de resíduos. A adoção destas medidas para efetivo controle de novos aterros é citada por MATO (1999). A uniformização e aplicação de critérios para projetos de aterros permite que esta forma de disposição final impacte menos sobre o meio.

2.7 DISCUSSÃO SOBRE TEMAS E DEFINIÇÕES DE ATERRO

Segundo a NBR 8419/92 da ABNT, aterro sanitário é a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário.

A seção 75 do ato de proteção ambiental do Reino Unido de 1990 (EPA, 1990) define resíduo como qualquer substância que constitui um material ou efluente

ou outra substância indesejável excedente para a aplicação no processo. Ou ainda, qualquer substância ou ente que requeira ser disposto por estar quebrado, contaminado ou inadequado (CRITTENDEN, 1995). A idéia do “confinamento” de resíduos representa o pensamento contemporâneo, onde a preocupação com o isolamento dos contaminantes é o pivô da preservação do meio ambiente e da saúde pública (CORREA *et al.*, 2003; TEIXEIRA & FERNANDES, 2003).

O termo utilizado para designar os RSU é comumente lixo. A palavra lixo origina-se do latim *lix*, que significa cinzas ou lixívia. Atualmente, o lixo é identificado, por exemplo, como basura nos países de língua espanhola, e refuse, garbage, solid waste nos países de língua inglesa (BIDONE, 1999; LINS, 2003). A ABNT entende, segundo a NBR 10.004/87, como os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não sejam passíveis de tratamento convencional.

Historicamente, existem três formas básicas adotadas pela sociedade urbana para disposição de resíduos sólidos: lixão ou vazadouro, aterro controlado e aterro sanitário (CASTILHOS Jr., 2003; MUÑOZ, 2002). Na realidade, muito poucos sistemas de disposição de lixo podem ser denominados como aterros sanitários, prevalecendo absolutamente os conhecidos “lixões” ou quando muito, aterros controlados (CINTRA *et al.*, 2002).

Os lixões são uma prática muito comum de disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. O resultado do censo sobre saneamento (IBGE, 2000), mostra que mais de 63% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos a céu aberto. Este processo caracteriza-se pela simples descarga de resíduos sobre o solo, a céu aberto, sem qualquer técnica de proteção ao meio ambiente, acarretando problemas de saúde pública, como consequência da proliferação de vetores de doenças. Esta forma de disposição está relacionada à liberação de maus odores e à poluição das águas superficiais e subterrâneas, pela infiltração do chorume (RAMOS, 2004; BISORDI *et al.*, 2004).

Os lixões são um problema social, por abrigarem um grande número de catadores que fazem ali seu dia-a-dia e sobrevivem dos restos de alimentos obtidos, e da comercialização de materiais recicláveis que encontram. De acordo com estimativas do UNICEF (2000), que tomou por base pesquisas de algumas instituições não governamentais e do Fórum Nacional Lixo & Cidadania de 1999, existiam no Brasil em 1999, cerca de 43.230 crianças e adolescentes vivendo nestas condições. Além dos problemas sociais, a poluição ambiental decorrente da inadequada disposição final do lixo conduz o planeta na direção de graves desequilíbrios e imensos danos à saúde pública (CALDERONI, 2003; BISORDI *et al.*, 2004).

MUÑOZ (2002), BIDONE (1999) e IPT/CEMPRE (2000) consideram como diferença única entre aterros controlados e lixões o fato dos resíduos não ficarem expostos a céu aberto pela cobertura periódica com terra. O solo não é impermeabilizado e nem sempre possui sistema de drenagem dos líquidos percolados, tampouco captação de gases formados pela decomposição da matéria orgânica. Se tais procedimentos preventivos não forem corretamente executados, os aterros tornam-se grandes fontes potenciais de contaminação do ar, do solo e das águas subterrâneas (LANGE *et al.*, 2002).

A disposição final dos resíduos coletados em pequenas comunidades é, em geral, realizada em valas ou trincheiras, utilizando-se de técnicas basicamente de terraplenagem e, após a disposição, os resíduos são cobertos com solo diariamente. Essa forma de disposição é mais adequada que a feita nos “lixões” a céu aberto. As dimensões das valas são, aproximadamente, de 3,0m de largura e 3,0m de profundidade e comprimento variável. Os resíduos são lançados do caminhão coletor para a vala, sendo então espalhados e cobertos com solo, com o uso de ferramentas manuais (pás, enxadas, carrinhos de mão, rastelo, entre outros) (MACAMBIRA *et al.*, 2002; LANGE *et al.*, 2002).

Em municípios de pequeno porte, a permanência da retroescavadeira é de um dia a cada sete a quinze dias, podendo o equipamento ser utilizado em outras atividades durante o período em que não é utilizado no aterro. As valas são “coroadas”

com solo para propiciar recalques por compressão e definir o sistema de drenagem de águas pluviais (BENVENUTO, 2004).

A disposição em valas não contempla elementos de drenagem de percolado e gases, nem de sistema de impermeabilização de fundo, sendo a drenagem de águas pluviais realizada por leiras de material argiloso. Não contempla também a compactação mecânica dos resíduos. A recomendação técnica de BENVENUTO, (2004) para aplicação desta forma de disposição é para comunidades com geração de resíduos variando de 2 a 5 t/dia. Ao final, estas áreas devem ser revegetalizadas com espécies exóticas e nativas. As principais limitações da disposição em valas são o nível freático e a disponibilidade de material de cobertura.

A disposição de resíduos em trincheiras é semelhante àquela apresentada para valas. Contudo, esta requer a utilização de equipamentos pesados, como trator de esteira, pá-mecânica e caminhão para o transporte de solo na implantação e operação, com abertura de “grandes valas”. Geralmente, a profundidade adotada para estas trincheiras é de 5,0 m, sendo as outras dimensões tais que possibilitem a entrada de equipamentos de terraplenagem. Em trincheiras, a cobertura de solo é diária e sistemas de drenagem de gás podem ser recomendados em função da maior espessura de resíduos. As condições topográficas podem possibilitar o projeto de impermeabilização de fundação e drenagem de líquidos percolados. As trincheiras são coroadas com solo de maneira a compensar os recalques advindos do adensamento dos resíduos, em geral de menor magnitude que as valas, devido à compactação dos mesmos. O emprego de trincheiras é recomendável para produções de resíduos acima de 5,0 t/dia, até cerca de 10 t/dia. A quantidade média de resíduos enterrados é da ordem de 1.000 a 3.000 kg/m² de área útil, dependendo da profundidade de escavação e da compactação dos resíduos. Ao final essas áreas são revegetalizadas com o plantio de espécies exóticas e nativas (BENVENUTO, 2004).

Os aterros controlados ou aterros sanitários manuais são, geralmente, usados em pequenas localidades, ou seja, municípios de até 20.000 habitantes ou 10 toneladas de geração diária, dimensionados pelo método de trincheiras (ou valas). Caracterizam-se por possuírem escavação prévia e retirada do material de cobertura efetuadas por

máquinas a cada 3 ou 4 meses, sendo as tarefas de operação de movimento, transporte e acomodação dos resíduos feitas manualmente com carrinho de mão, pás e picaretas e a compactação é efetuada por tambores compressores. Por não possuir uma camada de impermeabilização e coleta do chorume, essa técnica de disposição causa a contaminação das águas subterrâneas sendo, portanto, não indicada como alternativa tecnológica. Caracteriza-se como uma medida paliativa e não satisfatória, sendo preferível, logicamente, ao lixão. Não é uma técnica aprovada para o estabelecimento de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos (OBLADEN, 2004).

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos, evitando danos ou riscos a saúde pública minimizando os impactos ambientais (BENVENUTO, 2004; BIDONE, 1999; MUÑOZ, 2002). BENVENUTO (2004) acrescenta que o aterro sanitário é o elo de uma corrente, que deve unir ações de minimização, reutilização e reciclagem de resíduos, no âmbito de programas públicos de educação ambiental, limpeza urbana e saneamento básico e meio ambiente.

Em relação às boas práticas de execução e operação de aterros sanitários, vários pesquisadores (SIMÕES, 2000; BISSORDI *et al.*, 2004; BENVENUTO, 2004) apontam como critérios técnicos da engenharia a adoção de dispositivos de revestimento de fundo para prevenir a contaminação do subsolo e das águas subterrâneas, sistemas de coleta de líquidos percolados e gases gerados, sistemas de cobertura final que minimizem a infiltração e problemas de erosão, dispositivos de drenagem superficial que minimizem o afluxo de água para o interior da massa de resíduos, distâncias mínimas de 500 m de núcleos residenciais, 200m de corpos hídricos, 20 km de aeroportos, 3m do lençol freático, distanciamento viável sob o ponto de vista econômico-ambiental da área de geração de resíduos, disponibilidade de material argiloso para cobertura, vegetação rasteira ou de pequeno porte e zoneamento ambiental compatível.

Antes de se projetar um aterro sanitário devem ser realizados estudos geológicos e topográficos para a seleção da área e verificação do tipo de solo.

Cuidados adicionais, durante a operação do aterro, devem ser tomados como a impermeabilização do solo, a captação dos líquidos percolados por drenos horizontais para tratamento e dos gases liberados durante a decomposição por drenos verticais. Os resíduos devem ser compactados e cobertos diariamente com camada de terra de 20 a 40 cm (SERRA *et al.*, 1998, citado por MUÑOZ, 2002). Fazem parte das estruturas de controle dos aterros sanitários cercas, portaria, balança, instalação de apoio, almoxarifado, pátio de estocagem de material, galpões para abrigo de veículos, acessos externo e interno e iluminação.

Algumas questões vêm a tona diante do exposto: “O que fazer com as antigas áreas de lixões?”, “Estas áreas estão contaminando potencialmente o ambiente? Em que grau?”, “O que pode ser feito para remediar esta situação?”. É neste contexto que se insere esta pesquisa. Esta visa prover subsídios para que lixões possam ser remediados de forma a não contaminar o meio ambiente.

2.8 O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Quando compostos orgânicos e inorgânicos são dispostos em áreas adequadas para sua decomposição, a sua degradação ocorre através de um fenômeno constituído essencialmente pela superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, catalisados pelo fator água, presente nos resíduos pela umidade inicial e pelas águas da precipitação da chuva. (CASTILHOS Jr., 2003; BENDZ *et al.*, 1997; CHEN, 1996). Os metabolismos predominantes são o metabolismo aeróbio e anaeróbio, os quais estão condicionados à disponibilidade de oxigênio gasoso de origem atmosférica nas camadas de resíduos.

O chorume é o líquido resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica e é constituído por uma matriz aquosa complexa, com alta taxa orgânica (RIBEIRO, 2002). Apresenta alta capacidade de contaminação orgânica quando em contato com o meio aquático e apresenta uma variação bastante grande quanto a suas características físico-químicas. Esta variação é função do grau de estabilização do

material em decomposição, propriedades do terreno e condições climáticas (TATSI, 2002; BISORDI, 2004; NAHAS, 2004; HAMADA *et al.*, 2002 b; CHEN, 1996).

O balanço hídrico é o elemento fundamental para definir as opções tecnológicas, com consideração das condicionantes locais e regionais, integrando o aterro sanitário dentro dos recursos hídricos existentes (NAHAS, 2004; BISORDI *et al.*, 2004). PAVELKA (1993) constatou, por exemplo, que aterros em climas áridos têm menor produção de chorume que aterros em clima subtropical e que aterros descobertos apresentam uma maior produção de chorume, o induzindo à idéia de que a produção de chorume estaria diretamente relacionada à precipitação e às condições de drenagem locais.

As fases constituintes do processo de degradação anaeróbio podem ser assim discriminadas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O processo de degradação anaeróbio proporciona um aterro com baixa estabilização da massa de lixo, produzindo biogás e chorume por longos períodos de tempo (CHEN, 1996). Entretanto, READ *et al.* (2001) propõem a utilização de uma técnica aeróbia visando acelerar o processo de degradação da matéria orgânica presente nos RSU, que diminui a quantidade de gás metano e chorume gerados, além de aumentar a vida útil do aterro. CHEN (1996) concluiu que tratamentos biológicos removem mais eficientemente DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e Nitrogênio Kjeldhal do que os sistemas de precipitação química, sendo estes mais eficientes para remoção de sólidos suspensos, suspensos voláteis e fósforo total.

Os gases gerados durante a decomposição de matéria orgânica têm relação direta com a infiltração de águas excedentes, oriundas de precipitações pluviais e umidade presente nos resíduos (CINTRA *et al.*, 2002). Gases como CO₂, CH₄, H₂S, H₂ e N₂ são comumente observados, sendo o CO₂ e o CH₄ os mais abundantes. O metano (CH₄) tem baixa solubilidade em água, é inodoro e, geralmente, tem pouca influência na qualidade da água subterrânea. Na avaliação do impacto ambiental de áreas de disposição de resíduos, entretanto, este pode ser de grande importância por sua ocorrência na forma gasosa, acima do nível freático. Em algumas situações, o metano em níveis perigosos pode ser transportado por difusão, para a zona insaturada.

Complementarmente, os danos causados pela migração e acúmulo de gases, como metano, podem resultar em um extensivo risco à vegetação e pode causar também problemas de odor, além desestabilização de taludes (FREEZE & CHERRY, 1979).

A caracterização adequada de parâmetros físico-químicos como pH, carbono orgânico total, sólidos dissolvidos e voláteis, umidade do resíduo, cloretos, sulfatos, ortofosfatos, nitratos, amônia, dureza, metais pesados, DBO₅, DQO, entre outros, são relevantes e podem representar o potencial de contaminação de solo e corpos hídricos por chorume (DE MELO, 2002; CHEN, 1996). Estes parâmetros devem ser correlacionados com a ação biológica na massa resíduária. EL FADEL (2002) chegou à conclusão de que resíduos com altas taxas orgânicas resultam em um chorume bastante concentrado e que nem mesmo o fato de ordenar e confinar o lixo em sacos plásticos contribui para a estabilização deste.

Pouco se conhece acerca da qualidade do chorume proveniente dos aterros sanitários existentes no Brasil (CINTRA *et al.*, 2002). A composição físico-química dos percolados, mostrado na Tabela 2.1, depende da idade do aterro por estarem os processos de degradação dos resíduos condicionados à existência de oxigênio. O desenvolvimento dos processos de degradação pode ser retratado pelo quociente entre DBO₅/DQO encontrado no chorume. Portanto, nas primeiras idades há pH ácido e nas fases mais maduras do aterro pH básico e relações entre DBO₅/DQO mais baixas, em virtude da degradação da matéria orgânica.

TABELA 2.1 – PARÂMETROS QUÍMICOS TÍPICOS PARA CHORUME

PARÂMETROS	POHLAND & HARPER (1985)	SOUTH FLORIDA LANDFILLS (1987)	EHRIG (1989)	QASIM & CHIANG (1994)
pH	4,7 – 8,8	6,1 – 7,5	4,5 – 9,0	5,2 – 6,4
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	4 – 57.700	-	20 – 40.000	80 – 28.000
DQO (mg O ₂ /L)	31 – 71.700	530 – 3.000	500 – 60.000	400 – 40.000
Cloreto (mg/L)	30 – 5.000	112 – 2.360	100 – 5.000	70 – 1330
Amônia (mg/L)	2 -1.030	9,4 – 1.340	30 – 3.000	56 – 482
Fósforo Total (mg/L)	0,2 – 120	1,5 – 130	0,1 – 30	8 – 35
Ferro (mg/L)	4 – 2.200	1,8 – 22	3 – 2.100	0,6 – 325
Cádmio (mg/L)	70 – 3.900	< 0,005	< 0,05 – 0,140	< 0,05
Chumbo (mg/L)	0,001 – 1,44	< 0,105	0,08 – 1,020	0,5 – 1,0
Zinco (mg/L)	0,06	-	0,03 – 120	0,1 – 30

FONTE: REINHART & GROSH (1998), citado em PAES (2003)

O chorume apresenta como características principais elevada demanda bioquímica e química de oxigênio e concentrações variáveis de vários elementos como ácidos e metais pesados (BENDZ *et al.*, 1997; NAHAS, 2004; CHEN, 1996). Geralmente, aterros que operam entre 2 e 5 anos apresentam atividade microbiana e concentração de substrato decrescentes ao longo do tempo. Por outro lado, aterros operando em seu período médio ou próximos ao fim, isto é, de 10 a 30 anos, apresentam carboidratos de cadeia longa e/ou substâncias húmicas na composição do chorume. Conseqüentemente, pode ser observado um decréscimo na razão DBO₅/DQO com o tempo. O comportamento característico de cada uma das fases é apresentado na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 – VALORES DE ALGUNS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME DURANTE AS FASES ÁCIDA E METANOGENICA

PARÂMETRO	FASE ÁCIDA		FASE METANOGENICA	
	MÉDIA	FAIXA	MÉDIA	FAIXA
pH	6,1	4,5 – 7,5	8	7,5 – 9
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	13.000	4.000 – 40.000	180	20 – 550
DQO (mg O ₂ /L)	22.000	6.000 – 60.000	3.000	500 – 4.500
Sulfato (SO ₄ ²⁻ mg/L)	500	70 - 1.750	80	10 – 420
Cálcio (mg Ca ²⁺ /L)	1.200	10 – 2.500	60	20 – 600
Magnésio (mg Mg ²⁺ /L)	470	50 – 1.150	180	40 – 350
Ferro (mg/L)	780	20 – 2.100	15	3 – 280
Manganês (mg/L)	25	0,3 – 65	0,7	0,03 - 45

FONTE: PALMISANO & BARLAZ (1996), citado em PAES (2003)

Tendo em vista que tanto os gases como os percolados representam potenciais elementos de degradação ambiental dos solos, das águas do lençol freático e das áreas do entorno dos aterros, além de poderem ocasionar possíveis explosões e instabilizações no corpo do aterro, existe a necessidade da implantação de sistemas de drenagem interna para assegurar a adequada captação e condução tanto dos gases quanto dos percolados para dispositivos de tratamento. Em geral, esses sistemas servem para drenar simultaneamente os percolados e os gases (NAHAS, 2004).

Os processo e tipos de tratamento dados ao chorume no Brasil podem ser classificados segundo a Tabela 2.3:

TABELA 2.3 – PROCESSOS E TIPOS DE TRATAMENTO DE CHORUME

PROCESSO	TIPO DE TRATAMENTO
Canalização do lixiviado	Recirculação de lixiviado
Processos biológicos	Tratamento conjunto com águas residuárias
	Tratamento aeróbio
	Tratamento anaeróbio
	Charcos Artificiais
Processos físico-químicos	Precipitação química
	Oxidação química
	Adsorção com carbono ativo
	Filtração
	Osmose Inversa
Tratamento Natural	Aplicação no terreno
	Jardinagem com aplicação no terreno
Tratamentos Mistos	Diferentes combinações de vários

FONTE: ADAPTADO DE JUCÁ (2002)

Além da captação dos gases e dos percolados, para evitar a infiltração no solo, existe a necessidade de impermeabilização da área onde será implantado um aterro sanitário. De forma geral, são empregados dois tipos de impermeabilização. A primeira, a partir da utilização de solos argilosos compactados e a segunda através de elementos sintéticos, do tipo geomembrana. Embora existam outros tipos de revestimentos, a utilização destas alternativas, de forma isolada ou combinada, é a mais freqüente nos aterros sanitários brasileiros. A extensão destas ações depende do tipo de solo, pois o material argiloso absorve e retém com facilidade vários constituintes químicos dos percolados (NAHAS, 2004). Os critérios utilizados para aplicação das barreiras à infiltração são estabelecidos pela geotecnia ambiental, que destaca, entre outros critérios, o comportamento mecânico do aterro, associado às propriedades do lixo e à influência das condições ambientais, a biodegradação da matéria orgânica que influencia as propriedades de resistência e compressibilidade dos resíduos, o fluxo de líquidos e gases através das camadas de cobertura e de base dos aterros (MACAMBIRA *et al.*, 2002).

YONG *et al.* (2001) consideraram as barreiras de argila compactada um importante elemento constituinte do aterro uma vez que aumentam a capacidade de atenuação de contaminantes. Além do baixo custo, podem retardar o fluxo de chorume

e quimicamente atenuar seus efeitos através de processos de sorção. As argilas possuem grande área específica devido às pequenas dimensões de suas partículas e sua constituição mineralógica. Dentre as argilas, destacam-se as esmectitas, que possuem grandes superfícies específicas, da ordem de 80-300 m²/g, no caso das montmorilonitas, e grande capacidade de trocas iônicas, da ordem de 80-200 meq/100g. Esta última característica confere às esmectitas uma alta capacidade de absorção de água e outras substâncias em seus espaços interlamelares.

A bentonita é uma argila constituída basicamente por minerais do grupo das esmectitas (ROMERO, 2005). ALLEN (2001) confirma que as esmectitas existentes nas barreiras bentoníticas estão sujeitas a interações químicas com o chorume percolado, causando uma diminuição da capacidade de sorção e aumento da condutividade hidráulica, que é função da umidade e do grau de compactação do solo (MACAMBIRA *et al.*, 2002). Adicionalmente, se a dispersão predominar sobre a advecção, nenhuma barreira será completamente impermeável a poluentes e a estratégia de confinamento não funciona. A estratégia do “diluir e dispersar” emprega as propriedades de sorção natural e a troca iônica de argilominerais sendo, na maioria das vezes, aceitável para os padrões desejáveis se associado a outras medidas operacionais como cobertura diária dos resíduos, execução de canais de drenagem, etc (ALLEN, 2001).

2.9 FATORES QUE INTERFEREM NA GERAÇÃO DE CHORUME

Os aterros sanitários podem ser entendidos como reatores biológicos, que apresentam como principais componentes de entrada os resíduos sólidos e a água, e como principais elementos de saída os líquidos percolados e o biogás. A decomposição dos resíduos sólidos urbanos, em um aterro sanitário, ocorre tanto por processos aeróbios quanto por processos anaeróbios de digestão da matéria orgânica. Os principais fatores que influenciam a cinética dos processos de biodegradação são: a granulometria, a composição e a idade do resíduo; a umidade contida no resíduo; a temperatura nas células do aterro; a quantidade e as características de nutrientes; o pH

dos líquidos presentes no aterro, a densidade e o grau de compactação dos resíduos (PARKER, 1983, citado por MARQUES, 2003).

Os líquidos gerados pela decomposição dos resíduos percolam através da massa em decomposição nas células e lixiviam os materiais dissolvidos e em suspensão ali presentes. Englobam, basicamente, os líquidos infiltrados no aterro provenientes de fontes externas distintas, como os sistemas de drenagem superficial, a precipitação pluviométrica e o lençol freático, entre outros. A produção dos líquidos percolados é função da precipitação pluvial e da disponibilidade de água no local e é representada pela recirculação dos líquidos gerados, pela irrigação da camada de cobertura e pela presença de lodos, das características de umidade, vegetação e declividade da camada de cobertura, das características de composição, umidade, idade, densidade, método de disposição dos resíduos depositados e do método de impermeabilização do local (CHEN, 1996; CANZIANI e COSSU, 1989, citado por MARQUES, 2003; BENDZ, 1997; PAVELKA, 1993).

Para exemplificar, EHRIG (1988) reporta produções de líquidos percolados na faixa de 15 a 20% das precipitações registradas, para diferentes aterros sanitários em diferentes épocas do ano. Contudo, resultados obtidos por um estudo realizado com lisímetros executados com diferentes condições de contorno, como por exemplo, a presença ou não de material de cobertura, a espessura e o tipo de resíduo apresentaram valores para geração de líquidos percolados que variaram entre 6,9 e 22,1% em relação à precipitação registrada (HAM & BOOTKER, 1982, citado em MARQUES, 2003). Os autores constataram que o armazenamento desses líquidos no interior do aterro é sazonal.

A condutividade hidráulica do solo tende a decrescer com a umidade até a umidade ótima, onde então se estabiliza, principalmente para solos de natureza laterítica. Todavia, alguns solos não lateríticos mostram-se insensíveis à variação de umidade (MACAMBIRA *et al.*, 2002). CHEN (1996) observou que o carbono orgânico total e a condutividade elétrica variam com a precipitação, sendo maiores durante longos períodos chuvosos e que, ao contrário do que ditava a literatura até

então, descobriu que o tempo crítico para estabilização da massa de resíduos é bem menor que os 10 a 20 anos conhecidos.

O fluxo do chorume é caracterizado por um fluxo de base negligenciável, e descargas de pico que acontecem na metade de cada período de acumulação como resposta ao fluxo de entrada. O fluxo decresce rapidamente antes que o processo de infiltração cesse. Este comportamento é atribuído ao regime de retenção na massa de resíduos, onde o líquido é preso por tensão superficial e pode abruptamente se deslocar por ação da força gravitacional. Este comportamento permite que sejam ajustados polinômios matemáticos simples, com boa representação da realidade, para estimativa da geração de percolados. Isto indica que há relação direta entre massa de resíduos armazenada e chorume gerado (BENDZ *et al.*, 1997).

A influência dos parâmetros anteriormente citados sobre a geração de líquidos percolados em aterros sanitários tem sido alvo de diversos estudos. CHRISTENSEN *et al.* (1992) e BENDZ *et al.* (1997), por exemplo, apresentam uma completa revisão sobre os efeitos de certos procedimentos operacionais na estabilização de aterros sanitários. As técnicas discutidas pelos autores incluem, entre outras, a adição de lodos provenientes de estações de tratamento de efluentes, a trituração dos resíduos, a compactação intensiva, a utilização de coberturas diárias de solo, a recirculação dos líquidos percolados e a compostagem dos resíduos. Ainda sobre a geração de líquidos de um aterro, esta pode ser quantificada através da utilização de modelos matemáticos que contemplem a equação da continuidade combinada ao balanço hídrico local.

Os métodos mais conhecidos para se fazer esta estimativa são o Método do Balanço Hídrico e o Método Suíço. Com relação aos Métodos do Balanço Hídrico e Racional, LINS (2003) observou em sua pesquisa que estes métodos não corresponderam à realidade. Os métodos estimaram geração nula de percolado, enquanto observava-se a geração deste in loco. O Método Suíço apresentou resultados mais próximos à realidade por distribuir uniformemente a quantidade de chorume gerado. A determinação do balanço hídrico pelo Método Suíço, citado em LINS(2003) é dada pela Equação 2.1 que utiliza coeficientes empíricos:

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde: Q = vazão média do percolado, em litros por segundo; P = Precipitação média mensal (mm), calculada com uma série histórica de 1961 a 1990, obtida no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); A = área total (m²); T = tempo, em segundos; K = coeficiente empírico

Segundo KUMAR *et al* (2001), citado por LINS (2003), o Método do Balanço Hídrico permite estimar o percolado baseado em um fluxo unidimensional, na conservação de massa, e nas características de transmissão e retenção da cobertura do solo e dos resíduos no aterro. É um método mais consistente que o Método Suíço, pois considera em sua formulação, além do índice pluviométrico, a evapotranspiração, o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água no solo

Em função da heterogeneidade tanto da composição dos resíduos quanto do chorume gerado, YAQOUT (2003) estudou a composição dos resíduos urbanos dispostos em 5 aterros do Kuwait, que contém cerca de 95% de todos os resíduos sólidos gerados no país. Estudos científicos comprovaram e mostraram como o chorume pode ser caracterizado pela distribuição do peso molecular de seus constituintes. O fenômeno natural de sorção no solo é regulado pela presença de constituintes de baixo peso molecular existentes no chorume, pois estes aceleram a sorção das partículas de peso molecular mais alto (CALACE & PETRONIO, 1997 citado em CALACE, 2001).

2.10 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

Por ser cada vez mais abundante, diversificado e, por apresentar potencial valor agregado, a disposição dos RSU torna-se um problema altamente complexo, principalmente quando a sua disposição final não é adequada (GAIESKI, 1989). Os resíduos sólidos podem conter substâncias químicas com características tóxicas, dentre

elas os metais pesados presentes em diversos materiais provenientes de indústrias, funilarias, atividades agrícolas, laboratórios, hospitais e residências. A contaminação por metais pesados apresenta um amplo espectro de toxicidade que inclui efeitos neurotóxicos, hepatotóxicos, nefrotóxicos, teratogênicos, carcinogênicos ou mutagênicos (MUÑOZ, 2002; BIDONE, 1999).

Um solo pode ser considerado “limpo” quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. Esta concentração é denominada como valor de referência de qualidade. Entretanto, a área será considerada contaminada se, entre outras situações, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima de um dado limite denominado valor de intervenção, indicando a existência de um risco potencial de efeito deletério sobre a saúde humana. Havendo necessidade de uma ação imediata na área, deve ser executada uma investigação detalhada e adotadas medidas emergenciais, visando a minimização das vias de exposição como a restrição do acesso de pessoas à área e suspensão do consumo de água subterrânea (CETESB, 2001). Portanto a área será considerada contaminada se for identificado algum tipo de poluição em sua constituinte base. Contaminante é todo elemento estranho, não natural ao meio e que podem causar danos à saúde humana e/ou ao meio ambiente. O interesse básico em relação a solos e contaminantes é devido aos fenômenos de atenuação natural resultantes das interações e transformações químicas e físicas entre o solo e estes materiais (SCHNOOR, 1996; YONG, 2000).

No contexto do transporte de poluentes, o termo capacidade de atenuação natural é usado para referir-se àquelas propriedades do solo que poderiam prover a “diluição dos poluentes na pluma pelos processos naturais de interação solo-contaminante”. É freqüentemente impossível discriminar as quantias inerentes a processos de atenuação-diluição e conteúdo de água-diluição. Nos processos de atenuação natural, ambos, retenção e retardação, ocorrem como mecanismos de acumulação e diluição de poluentes. Na retenção, espera-se que este seja um processo mais ou menos permanente, o que significa dizer que o processo irreversível de sorção ocorre (YONG, 2000).

HAMADA *et al.* (2002b) comprovaram, por meio de testes de infiltração de chorume em solo, que as eficiências de remoção de DQO atingem valores bastante elevados, da ordem de 95%, depois de estabelecida a condição de equilíbrio. Contudo, observa-se um limite bastante claro na capacidade de remoção de DQO pelo solo, com queda repentina na eficiência (remoção inferior a 50%). Presume-se fortemente que o conteúdo de argila do solo, através da adsorção, seja fundamental para a retenção de substâncias húmicas e outros compostos orgânicos e íons do chorume. Apesar das limitações quanto ao uso desta técnica, do ponto de vista prático, deve ser lembrado que quando saturado, este material pode ser utilizado na cobertura do aterro e o leito de infiltração ser substituído por outra quantidade de solo, constituindo uma área secundária de armazenamento de material para cobertura (HAMADA *et al.*, 2002b).

BREUKELLEN & GRIFFIOEN (2004) analisaram o comportamento das reações de oxi-redução nas franjas das plumas de contaminação de chorume percolado de aterros. Basicamente, acontecem as reações de oxidação do carbono orgânico dissolvido, CH₄, Fe(II), Mn(II) e NH₄ do chorume e as reações de redução do O₂, NO₃ e SO₄ da água subterrânea. Conhecer o funcionamento destes processos é fundamental para simular e avaliar a atenuação natural. ISLAM & SINGHAL (2004) concluíram que todas estas reações influenciam significativamente na redução da condutividade hidráulica do meio, naquele estudo de 8,8 x 10⁻¹ para 3,6 x 10⁻³ m/s, colaborando muitas vezes para que o percolado não atinja porções de água subterrânea.

Barreiras geológicas naturais podem ser definidas como de baixa permeabilidade se apresentarem granulometria rica em argila (condutividade hidráulica menor que 10⁻⁷ m/s), podendo estas exercer a função de camada de atenuação, permitindo um fluxo descendente lento de forma a que, simultaneamente, aconteçam as atenuações por filtração, sorção e troca iônica na própria camada. (ALLEN, 2001). MACAMBIRA *et al.* (2002) e a CETESB (2001) julgam que estas barreiras naturais são obtidas com condutividades hidráulicas inferiores a 10⁻⁵ m/s. Barreiras geológicas naturais com permeabilidade extremamente baixa (condutividade hidráulica menor que 10⁻⁹ m/s) não conseguem exercer a função de “diluir e dispersar”, por conferirem uma característica de confinamento absoluto ao aterro.

Similarmente, barreiras geológicas de maior permeabilidade (condutividade hidráulica superior a 10^{-7} m/s) não conferem o confinamento necessário. Portanto, a barreira geológica otimizada, para utilização das propriedades do solo como atenuadores naturais, encontra-se na faixa de condutividades hidráulicas de 10^{-7} a 10^{-9} m/s. (ALLEN, 2001)

CALACE *et al.* (2001) comprovaram que a sorção do chorume no solo é regulada pela presença de constituintes com baixo peso molecular. A rápida sorção dos constituintes de baixo peso molecular dá origem a um novo tipo de solo apto a acomodar as partículas maiores. As partículas menores, geralmente inorgânicas, atuam como catalisadores do processo de sorção das partículas maiores por conferirem cargas negativas à estrutura acelerando o processo.

ISLAM & SINGHAL (2004) identificaram através de ensaios em colunas as parcelas da degradação do chorume no solo. Chegaram à conclusão de que uma significativa atividade microbiana foi identificada somente após o primeiro mês de ensaio, indicando uma necessidade de adaptação ambiental das populações microbianas. Puderam-se observar fenômenos como a redução do manganês, do ferro e do sulfato, além de metanogênese (degradação do ácido acético). O estudo constatou que ambos os eventos acontecem simultaneamente.

Segundo SCHWARZBAUER (2002), utiliza-se como técnica para identificação e quantificação da contaminação de solos por compostos orgânicos presentes no chorume a espectrometria por cromatografia mássica. Este tipo de análise permite identificar a composição dos contaminantes orgânicos. Sua pesquisa desenvolveu-se em um aterro na Alemanha coletando-se amostras no topo e na base do aterro. RIBEIRO (2002) e CASTILLO & BARCELÓ (2001) acrescentam, como formas de determinação dos constituintes do chorume, as técnicas da extração líquido-líquido, com utilização de diclorometano, ou sólida seguidas de espectrometria por cromatografia a gás.

RIBEIRO (2002) desenvolveu uma nova metodologia analítica, mais barata por utilizar menos solvente, para determinar 13 clorofenóis e fenóis por SPME-GC-MS (micro extração da fase sólida por cromatografia a gás). A determinação destes

compostos é importante uma vez que estes são tóxicos e carcinogênicos. Entretanto, muitos polares, iônicos, metálicos e termicamente instáveis compostos não podem ser analisados por cromatografia a gás, valendo-se de métodos alternativos para análise desenvolvidos pelos próprios pesquisadores (CASTILLO& BARCELÓ, 2001).

A eficácia geofísica, na avaliação da contaminação depende do potencial poluidor da massa e da profundidade do aterro, além de características geológicas, heterogeneidades espaciais e de propriedades. Os métodos mais utilizados na avaliação da contaminação de subsolo e águas subterrâneas e com resultados satisfatórios são os eletromagnéticos em especial o método do caminhamento elétrico (HAMADA *et al.*, 2002a; MATIAS *et al.*, 1994). Esta técnica pode ser utilizada para investigação de contaminações sub-superficiais através da resistividade elétrica, com a vantagem de ser um método com rápida aplicação e não invasivo.

Solos contaminados possuem uma dispersão dielétrica diferente de solos não contaminados. Este fato possibilita a identificação, através de uma faixa de coeficientes dielétricos, de quais contaminantes estejam atuando em um determinado local (LEE *et al.*, 2003). Outro método de investigação que pode ser utilizado é o apresentado por LUDVIGSEN *et al.* (1997). Em seu estudo utilizaram métodos estatísticos de análise de parâmetros biogeoquímicos e quantificação de fosfolipídios para identificar o grau de contaminação de um aquífero contaminado por aterro na Dinamarca.

Pesquisas recentes mostraram que o georadar pode ser utilizado como uma boa ferramenta de análise de aterros de entulhos. ORLANDO (2001) realizou ensaios com georadares de 50, 100 e 200MHz. Os resultados foram comparados com os métodos de sondagem elétricas verticais (VES), multieletrodo e refração sísmica. A vantagem deste método é que além de detectar a pluma de contaminação do aterro permite definir sua geometria. Por outro lado, sabe-se que em áreas que receberam resíduos, a geofísica não permite a identificação efetiva do contaminante e se de fato representa uma contaminação em potencial. Para tanto, necessitam-se investigações invasivas, que permitam amostragens de solo e água (HAMADA *et al.*, 2002a).

Os resultados de SCHWARZBAUER (2002) mostram que o pH do chorume é de cerca de 7,9 e este apresenta cerca de 180 contaminantes. Quando se vão experimentar amostras de chorume em laboratório utiliza-se a seguinte abordagem: coleta + extração líquido-líquido + cromatografia + identificação dos compostos orgânicos + análises quantitativas.

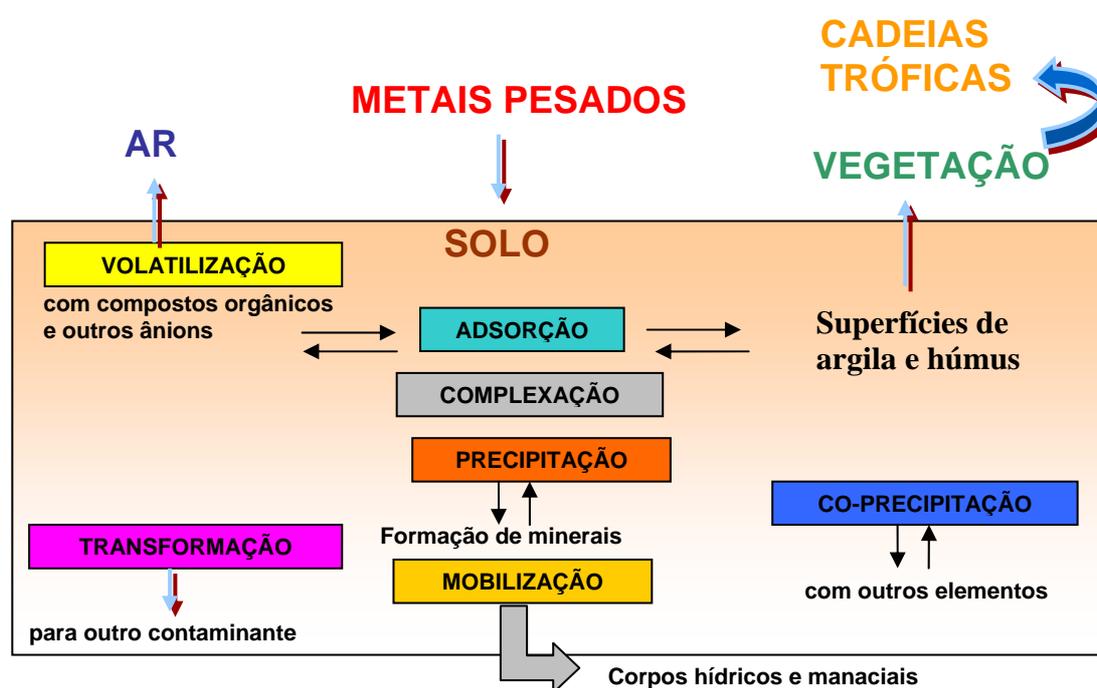
A concentração de metais pesados no meio ambiente, com sua disseminação no solo, água e atmosfera tem sido motivo de crescente preocupação no mundo. A contaminação por metais pesados é um dos maiores problemas ambientais e significa risco à saúde humana e a ecossistemas (CHEN *et al.*, 2004). Os metais pesados podem ser percolados por meio do chorume. O chorume mistura-se com a água de chuva e outros líquidos, originalmente existentes no lixo, infiltrando-se no solo e, quando alcança o lençol freático, contamina a água subterrânea. A contaminação dessas águas tem conseqüências que perduram por tempo indefinido e são de difícil controle. Além de provocar a contaminação da água, essa disposição inadequada polui também o solo, atingindo as plantas, os animais e o homem (MAGOSSI & BONACELLA, 1991; SERRA *et al.*, 1998; CHEN *et al.*, 2004).

Um estudo recente (MUÑOZ, 2002) que avaliou os níveis de metais pesados em aterros sanitários, na região de Ribeirão Preto –SP, constatou que os níveis dos metais Cádmio, Manganês e Cobre superam os valores estabelecidos pelo Órgão Ambiental Estadual, referenciados em CETESB (2001). Estudos comprovam que metais pesados caracterizam-se por seu efeito bioacumulativo, causando agravos à saúde, além de doenças carcinogênicas, danos aos sistemas nervoso central, hepático, hematopoético, renal e esquelético (DENILON & SILBERGELD, 1988; MAGOSSI & BONACELLA, 1991; SERRA *et al.*, 1998 citado por SEGURA MUÑOZ, 2002). Outro estudo (SISSINO, 1995) utilizou-se dos níveis de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, e Zn, no líquido percolado de um aterro controlado em Niterói-RJ a fim de diagnosticar a situação ambiental da área de influência do aterro.

VEGA *et al.* (2003) demonstra, em seus estudos, que o impacto ambiental pode ser causado pelos altos níveis de metais pesados no solo, impedindo a recuperação vegetal da área e recomposição do ambiente. Neste estudo foram

estabelecidas as relações entre 25 diferentes tipos de solo e metais pesados. Os metais pesados que são incorporados ao solo podem seguir diferentes vias de fixação, liberação ou transporte, segundo a representação da Figura 2.4. Os metais podem ficar retidos no solo, seja dissolvidos em solução ou fixados por processos de adsorção, complexação e precipitação. Também, podem ser absorvidos pelas plantas e, assim, serem incorporados às cadeias tróficas, ou também podem passar para a atmosfera por volatilização ou mover-se para águas superficiais ou subterrâneas (MUÑOZ, 2002).

FIGURA 2.4– DINÂMICA DOS METAIS PESADOS NO SOLO



FONTE: ADAPTADO DE ANTA, 1996, CITADO EM GARCIA & DORRONSORO, 2002

Os metais pesados apresentam peso atômico relativamente alto e caracterizam-se pelo efeito bioacumulativo. O chumbo, por exemplo, pode causar dores abdominais, disfunção renal, anemia, problemas pulmonares, neurite periférica (paralisia), encefalopatia. O mercúrio pode causar gengivite, salivação, diarreia, estomatites, lesões cerebrais e neurológicas entre outros males, mesmo se ingerido em pequenas quantidades (MONTEIRO, 2001). Recentemente, a fitoremediação, utilização de plantas para remoção de metais poluentes de solos contaminados, tem sido utilizada como um novo método para a remediação de áreas contaminadas. Esta técnica, por ser

ecologicamente amigável, baseada em espécies vegetais e de baixo custo, possui várias vantagens econômicas, estéticas e técnicas em relação à técnica tradicional de engenharia (CHEN *et al.*, 2004).

As vias de contaminação indireta, como é o caso dos metais pesados presentes no lixiviado, embora sejam menos evidentes representam um risco maior à saúde da população por acarretarem, muitas vezes, em doenças de caráter crônico. Por outro lado, os contatos diretos do homem com os resíduos sólidos urbanos (como acontece com catadores atuando em aterros), embora menos freqüentes, requerem certos cuidados de caráter ambiental e sanitário. Cuidados com recobrimento diário, execução de canais de drenagem e outros inibem a geração de vetores veiculadores de moléstias. Pode-se destacar, dentre os veiculadores de moléstias, os ratos (causadores da peste bubônica, da leptospirose), as moscas (que podem abrigar agentes transmissores de febres, cólera, tuberculose, lepra, varíola, hepatite, amebíase, teníase), os mosquitos (transmitindo viroses, dengue, febre amarela, malária), as baratas (suspeita-se que veiculem o vírus da poliomelite) e as aves, como os urubus (transmissores da toxoplasmose) (BIDONE, 1999).

A urgência da intervenção pode ser baseada em uma avaliação de fluxo e transporte de massa de poluentes, através de modelagem matemática, assim como em uma avaliação de risco específico para as condições do local, levando-se em consideração a exposição humana. O início da intervenção na área e a execução de todas as etapas posteriores devem ser acordados entre o responsável pela remediação e as autoridades competentes, estabelecendo-se um cronograma executivo que deverá ser subsidiado pelas informações obtidas na avaliação da área contaminada (CETESB, 2001).

2.11 O TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO MEIO AMBIENTE

A proteção do meio ambiente, contra as conseqüências adversas da disposição de resíduos, é um importante problema da atualidade e envolve duas questões fundamentais. A primeira é a análise da migração de contaminantes, a partir dos locais

onde os resíduos são dispostos. A segunda é a garantia de estabilidade dos locais usados para disposição dos resíduos (OLIVEIRA, 1998).

Segundo o National Research Council (1990) (citado em CORREA *et al.*, 2003) são oito os processos que afetam o transporte de contaminantes miscíveis em água:

- Sorção - retenção de parte do contaminante pelas partículas de solo (mais significativa para solos com CTC – Capacidade de Troca Catiônica acima de 10 meq/100g);
- Decaimento radioativo – declínio irreversível da atividade radioativa (só passa a ser relevante quando a meia-vida do elemento radioativo é menor ou igual ao tempo de retenção do contaminante no meio poroso);
- Dissolução / precipitação - reações devido à liberação de elementos da fase sólida ou remoção de contaminantes com a precipitação no meio poroso (processo verificado nos solos tropicais, com a dissolução de ferro e alumínio e a retenção de metais pesados);
- Ácido / base - reações envolvendo a transferência de prótons de H^+ (tem importância no controle do processo de dissolução e precipitação de contaminantes, especialmente dos metais);
- Complexação - combinação de ânions e cátions na forma de novos elementos;
- Hidrólise - reação de compostos orgânicos halogenados com íons da água;
- Oxidação / redução - reações envolvendo a transferência de elétrons. Segundo os autores, esse mecanismo tem importância no controle da precipitação dos metais, relevantes para mensuração da capacidade de confinamento dos solos tropicais, na condição de solos de base de aterros sanitários.
- Biodegradação - reações controladas por microrganismos, bastante importante nos mecanismos de atenuação de compostos orgânicos e no encapsulamento de metais ou outros compostos tóxicos;

Complementarmente, HIRATA (2004) divide os processos que controlam a migração em processos físicos, químicos e biológicos assim resumidos na Tabela 2.4:

TABELA 2.4 – PROCESSOS DE MIGRAÇÃO DE CONTAMINANTES

	DESCRIÇÃO	EFEITOS
PROCESSOS FÍSICOS		
Fluxo subterrâneo (advecção)	A água subterrânea flui através de poros e fraturas, em solos e rochas	Transporta contaminantes dissolvidos ou em solução
Dispersão Hidrodinâmica	A água subterrânea flui mais rapidamente em alguns poros e fraturas que em outros. Há mistura de águas contaminadas e não-contaminadas	Reduz a concentração, mas aumenta a área atingida pelos contaminantes
Separação gravimétrica	Líquidos menos densos que a água tendem a flutuar no topo dos aquíferos.	Dependendo da densidade do contaminante, pode criar zonas de concentração, no topo ou na base dos aquíferos.
Filtração	Solos e rochas podem filtrar partículas em suspensão na água subterrânea	Reduz a concentração dos contaminantes em suspensão
Decaimento radioativo	Rearranjo na estrutura atômica, com a formação de elemento mais estável e emissão de energia.	Reduz a concentração dos contaminantes radioativos segundo taxas previsíveis, mas com emissão de radioatividade
Volatilização	Contaminantes voláteis evaporam do lençol freático para a zona não-saturada ou para a atmosfera.	Reduz a concentração de contaminantes voláteis
Variação térmica	Contaminantes com temperatura elevada	O calor dos contaminantes afeta as propriedades físicas da água e as propriedades químicas dos resíduos
PROCESSOS QUÍMICOS		
Adsorção e troca iônica	Alguns contaminantes dissolvidos tendem a aderir às superfícies dos minerais	Reduz a concentração e\ou velocidade de migração
Reação de oxidação-redução	Alterações da estrutura molecular e propriedades iônicas dos contaminantes	Pode alterar a toxicidade, comportamento químico e mobilidade dos contaminantes
Hidrólise	Reação com a água, a qual altera a natureza iônica e molecular dos contaminantes	Reduz a concentração dos contaminantes
Complexação	Contaminantes dissolvidos associam-se a outros compostos para formar novos produtos	Pode aumentar a mobilidade dos contaminantes e alterar o comportamento químico
PROCESSOS BIOLÓGICOS		
Transformação microbioquímica	Bactérias e outros microorganismos alteram ou decompõem contaminantes orgânicos e alguns inorgânicos através de reações enzimáticas e de respiração.	Reduz a concentração de alguns contaminantes. Pode criar novos produtos tóxicos.

FONTE: ADAPTADO DE HIRATA (2004)

Portanto, a quantia de agentes migrantes no solo será controlada por fenômenos como a advecção, dispersão, perda e ganho de massa de soluto como resultado de reações químicas (SHARMA & LEWIS, 1994). Segundo os mesmos autores, se definirmos F (fluxo de massa) como a massa de soluto por unidade de área por unidade de tempo ($ML^{-2}T^{-1}$), C como a concentração de soluto na direção do transporte (ML^{-3}), $(\delta C/\delta z)$ como o gradiente de difusão, e D como o coeficiente de difusão (L^2T^{-1}), então, de acordo com a Primeira Lei de Fick, pode ser escrita a Equação 2.2:

$$F = - D \times (\delta C/\delta z) \quad (\text{Equação 2.2})$$

O sinal negativo indica que a difusão ocorre na direção do decréscimo da concentração. De acordo com PERKINS & JOHNSTON (1963), citados por SHARMA & LEWIS (1994), o coeficiente de dispersão pode ser dado pela Equação 2.3, assim expressa:

$$D = D_m + A \quad (\text{Equação 2.3})$$

Onde D_m é a componente de difusão molecular e A é a componente de advecção molecular. A componente de advecção é variável de acordo com as condições porosas na matriz do solo. Para casos de solos com baixa permeabilidade, como as argilas, a componente de advecção, também chamada de dispersão mecânica, é negligenciável (GILHAM & CHERRY, 1982, citados em SHARMA & LEWIS, 1994). Portanto, para efeitos práticos, D é igual a D_m (ACAR & HAIDER, 1990).

A efetiva difusão molecular, D_e , em meios porosos de solos saturados é menor que a difusão molecular, D_m , de espécies iônicas na água devido à tortuosidade dos poros e outros fatores. (ACAR & HAIDER, 1990). Isto é devido primeiramente ao fato de que íons são altamente influenciados pela matriz do solo. Portanto, a equação pode ser assim descrita, como na Equação 2.4, considerando-se a tortuosidade:

$$D = D_e = t \cdot D_m \quad (\text{Equação 2.4})$$

O fator tortuosidade t é menor que a unidade. Experimentos laboratoriais mostram que o valor do fator tortuosidade varia entre 0,01 e 0,5 dependendo do material geológico que se avalia (FREEZE & CHERRY, 1979). Sendo assim, deve-se considerar o conceito dado pela Segunda Lei de Fick, apresentado na Equação 2.5, que representa quantitativamente a difusão do soluto com o tempo.

$$(\delta C / \delta t) = D (\delta^2 C / \delta z^2) \quad (\text{Equação 2.5})$$

A solução da Equação 2.5 depende das condições iniciais. Por exemplo, se ab representa faces opostas de uma camada de argila e se é assumido para um tempo $t = 0$ que a concentração de soluto na argila no ponto a é C_0 ($C_0 > 0$) e a concentração de soluto no ponto b é igual a zero, se a concentração C_0 permanece constante no ponto a ao longo do tempo, a solução para a equação acima descrita dada por (CRANK, 1956, citado em SHARMA & LEWIS, 1994):

$$C(z,t) = C_0 \operatorname{erfc} (z / (2 (D t)^{1/2})) \quad (\text{Equação 2.6})$$

Onde erfc corresponde à função erro.

2.12 MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO SOLO

Segundo SCHNOOR (1996), pode-se resumir em três as razões para justificar a elaboração de modelos matemáticos para poluentes ambientais. A primeira é obter melhor compreensão do destino e transporte de substâncias químicas através da quantificação de suas reações, evolução e movimentos. A segunda, determinar concentrações de exposição química em organismos aquáticos e/ou humanos no passado, presente e futuro. E por fim, prognosticar condições futuras sobre vários cenários que recebem cargas ou alternativas de ações gerenciais

Modelos matemáticos são formulações quantitativas dos processos químicos, físicos e biológicos que simulam o comportamento de um sistema. Podem variar de equações de simples resoluções até equações que só podem ser resolvidas por métodos numéricos sofisticados e por computação (SCHNOOR, 1996).

Modelos numéricos e computacionais são desenvolvidos com o intuito de simular, descrever ou quantificar diferentes parâmetros no âmbito do transporte de contaminantes em solo e água subterrânea. Diferentes tipos de abordagens podem ser considerados: analíticas, experimentais, probabilísticas, estocásticas, etc e combinações destas. Abordagens probabilísticas contemplam muitas vezes a interação entre os diversos compartimentos ambientais. HO *et al.* (2004) desenvolveram um programa baseado nestas relações e interações. Através deste programa se podem analisar os riscos e incertezas acerca da contaminação dos diferentes compartimentos ambientais.

A simulação numérica do movimento de contaminantes no solo e na água consiste na solução de uma equação diferencial parcial que descreve o problema. Esta equação apresenta algumas particularidades na sua solução devido a sua característica hiperbólica. Devido a esta característica, a equação de transporte apresenta algumas restrições quanto a discretizações espacial e temporal utilizadas para a sua solução. Caso essas restrições não sejam observadas, a solução apresenta oscilações. Tais oscilações podem se apresentar como concentrações negativas, concentrações que ultrapassam o valor da condição de contorno ou um *dumping* da frente de concentração (CAMPOS, 1999).

São inúmeros os fenômenos que controlam o transporte de contaminantes em meios porosos, onde o contaminante considerado é a massa de alguma substância tóxica dissolvida (poluente), movendo-se com algum fluido (água) nos vazios do meio poroso (solo) seja ele saturado ou não (NOBRE, 1987, citado por COELHO, 2004). O movimento dos contaminantes depende do fluxo do fluido no qual tais substâncias estão dissolvidas e também de mecanismos que por sua vez dependem de processos físicos, químicos e biológicos aos quais estas substâncias são submetidas (COELHO, 2004).

O modelo advecção/dispersão hidrodinâmica é o mais utilizado na análise de transporte de poluentes em meios porosos estando amplamente descrito na bibliografia (FREEZE & CHERRY, 1979; FETTER, 1992; SHARMA & LEWIS, 1994; ACAR & HAIDER, 1990; GONULLU, 1994). Dependendo do grau de avaliação e interesse do estudo, podem-se utilizar simplificações, aproximações e diferentes condições de contorno para se ter o entendimento do processo em termos uni, bi ou tridimensionais. GONULLU (1994), por exemplo, analisou a sensibilidade de parâmetros como coeficiente de transferência de massa (k), concentração máxima (C_{\max}) em seu modelo analítico, através de ensaios experimentais

A equação que descreve o transporte de substâncias dissolvidas no meio poroso é a equação da advecção/dispersão hidrodinâmica, a qual inclui o efeito dos processos de retardamento. A Equação 2.13.1 expressa o transporte de contaminantes em solo saturado, homogêneo, em condição de fluxo permanente, para o caso unidimensional (HUYAKORN & PINDER, 1983, citado por COELHO, 2003; FREEZE & CHERRY, 1979; FETTER, 1992; SHARMA & LEWIS, 1994; ACAR & HAIDER, 1990).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - K_f \frac{\rho_d}{n} \frac{\partial C}{\partial t} \quad (\text{Equação 2.7})$$

Em que: C = concentração de soluto (kg/m^3); D_L = coef. de dispersão hidrodinâmica longitudinal (cm^2/s); n = porosidade do solo; V_x = Velocidade linear média ou velocidade de percolação intersticial (cm/s); K_f = função de distribuição da substância entre as fases sorvida e dissolvida; ρ_d = densidade do solo seco (g/cm^3).

2.12.1 Solução Analítica da Equação 2.7

Para o caso de concentração constante do poluente (C_0) na entrada de uma coluna contendo uma amostra de solo saturado, na condição de fluxo permanente e unidimensional, as condições de contorno são descritas matematicamente como: $C(x, 0) = 0$ para $x \geq 0$; $C(0, t) = C_0$ para $t \geq 0$; $C(\infty, t) = 0$ para $t \geq 0$. Para estas condições

de contorno, a solução da Equação 2.13.1 é (OGATA & BANKS, 1961, citado por LANGE, 2002):

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{(x-V't)}{2(D't)^{1/2}}\right) + \exp\left(\frac{V'}{D'}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{(x+V't)}{2(D't)^{1/2}}\right) \quad (\text{Equação 2.8})$$

Para *erfc* = função complementar de erro

O efeito de infiltração do chorume no solo cria novas condições, ou seja, um “novo” tipo de solo, capaz de aumentar os efeitos de adsorção, principalmente a metais pesados. Resultados mostram que a sorção do chorume no solo é regulada pela presença, no chorume, de constituintes com baixo peso molecular e como conseguinte, aceleram a sorção das partículas maiores (CALACE, 2001). ALMEIDA *et al.* (2003) utilizaram a modelagem computacional para diagnosticar a pluma de contaminação do lixão de Viçosa (MG). Neste estudo empregaram o programa VISUAL MODFLOW e comparam os resultados obtidos com um estudo anterior realizado com os programas SEEP e CTRAN. A modelagem foi realizada para os metais pesados chumbo, cádmio e cobre, sendo o chumbo o menos móvel.

O emprego de modelos matemático-computacionais é bastante comum na área de gerenciamento de resíduos e dimensionamento de áreas de disposição. O modelo HELP (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*) é o mais empregado para a quantificar e avaliar o potencial de percolação do chorume na subsuperfície. O PORFLOW é um modelo tridimensional utilizado para simular o fluxo subterrâneo e descreve o movimento dos contaminantes através dos compartimentos ambientais. A utilização destes modelos levou BOU-ZEID & EL-FADEL (2004) a concluir que alterações no coeficiente de partição, carga hidráulica, condutividade hidráulica do aquífero e dispersividade têm os impactos mais significativos no modelo, devendo ser cuidadosamente estimados.

Nos estudos acerca da contaminação de solo e água em lixões muitas vezes se vale do uso de traçadores. HOGAN (2003) estudou este fenômeno com isótopos de boro e lítio obtendo resultados satisfatórios. LOOSER (1999) desenvolveu um novo método analítico de alta resolução (ICP-MS) utilizando traçadores de elementos inorgânicos.

Ainda no âmbito dos traçadores, pode-se utilizar o carbono orgânico dissolvido, o sulfato ou o cloreto como eficientes neste processo. A distribuição espacial dos contaminantes pode ser obtida por meio de ferramentas estatísticas e técnicas geoestatísticas (MARCOMINI, 2003).

Como exemplo de avaliação de transporte de poluente unidimensional, ISLAM & SINGHAL (2002) propuseram um modelo baseado em três módulos: equilíbrio geoquímico, cinética da biodegradação e cinética da precipitação-dissolução. Para a biodegradação de resíduos sólidos, têm sido desenvolvidos modelos numéricos mais específicos (WHITE *et al.* 2004; BREUKELEN *et al.*, 2004) que simulam o transporte de chorume e gases desde que a biogeoquímica dos aterros seja conhecida (BREUKELEN *et al.*, 2003).

Técnicas computacionais modernas permitem a identificação de áreas potencialmente poluidoras através de georeferenciamento (EMERSON, 2003). Muitas vezes considera-se que plumas de contaminação possuem caráter unidimensional ou bi-dimensional. Este fato é contestado por BRUN (2002) que sugere seu próprio modelo tridimensional, fundamentado nas equações clássicas do movimento de contaminantes em meios porosos.

A adoção de modelos estocásticos ou probabilísticos para o entendimento dos processos de contaminação é bastante comum (ZACHAROF *et al.*, 2004; CLIFFORD *et al.*, 2004). Geralmente, estes são acompanhados de programas de computador que auxiliam as prefeituras a gerenciar e avaliar suas próprias áreas de disposição de resíduos.

O transporte em meios porosos, através de caminhos preferenciais, foi estudado por ROSQVIST *et al.* (2000). Em muitos casos, um modelo simples não contempla variações existentes na natureza, como é o caso de solos estratificados. Nestes casos, as variações logarítmicas das condutividades hidráulicas das camadas de solo são significativas. Um estudo desenvolvido por ZHAN (1998) contempla análises temporais e espaciais acerca do tema.

A comparação entre diferentes metodologias de análise também tem sido feita. Pode-se citar o trabalho desenvolvido por ABBASPOUR *et al.* (2000) que confrontou métodos geofísicos com modelos hidrogeológicos. Atualmente, têm-se utilizado alguns programas, que agregam vários modelos, entre os quais podem ser citados o HELP (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*), o PORFLOW, o HYDRUS 1D, 2D e 3D, entre outros (EL-FADEL *et al.*, 2002; LANGE, 2002).

2.13 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

O crescimento desordenado das cidades, especialmente das grandes metrópoles, tem provocado uma série de problemas sócio-econômicos e ambientais. Atualmente são várias as atividades humanas que causam impactos ambientais, dentre elas pode ser destacada a disposição inadequada dos resíduos sólidos que provocam alterações na qualidade do solo, do ar e dos corpos aquáticos, além de representar um risco para a saúde pública (LOPES, 2003).

No Brasil, a responsabilidade pela disposição final dos resíduos sólidos urbanos é das prefeituras, enquanto os resíduos sólidos industriais, dos serviços de saúde e agrícolas são da responsabilidade do próprio gerador. No entanto, a grande maioria dos resíduos sólidos gerados é disposta em lixões, o que causa sérios problemas ambientais (LOPES, 2003). Além dos lixões, a implantação, a operação e o encerramento de um aterro sanitário, por melhor que tenha sido sua operação, gera impactos ambientais nos componentes do meio físico e, como resultado, ao meio antrópico e aos ecossistemas (BENVENUTO, 2004).

O conceito de impactos e riscos ambientais surgiu em debates no congresso dos EUA no final da década de 60, principalmente por causa de derrames de petróleo e, sobretudo, pelos efeitos da Guerra do Vietnã (FRANCO, 2001). Impacto ambiental é uma alteração física ou funcional em qualquer um dos componentes ambientais. Essa alteração pode ser qualificada e, muitas vezes, quantificada. Pode ser favorável ou desfavorável ao ecossistema ou à sociedade humana (TOMMASI, 1994 citado por LOPES, 2003).

A resolução nº 001 do CONAMA de 23 de janeiro de 1986 em seu art. 1º define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente ou a qualidade dos recursos ambientais.

Deve-se no entanto lembrar que tanto o conceito de impacto quanto o de poluição são antropocêntricos, uma vez que estão fundamentados nos efeitos das ações humanas sobre ecossistemas e sua própria sociedade e economia. Nesse sentido, a poluição natural passa a não existir e impacto ambiental, portanto, refere-se sempre às ações humanas, mesmo sob forma de inundações, secas, terremotos, etc. (FRANCO, 2001).

Segundo MUNN (1979), citado por LOPES (2003), a avaliação dos impactos ambientais é uma atividade desenvolvida para identificar e prever o impacto de dispositivos legais, políticas, programas, projetos e procedimentos operacionais sobre o meio biogeográfico, a saúde humana e o bem estar do cidadão. No caso dos aterros sanitários, vários dos impactos podem ser minimizados desde a concepção do projeto até a seleção de áreas para a implantação do aterro. Os critérios utilizados pela comunidade técnica e ambiental, para o processo de seleção de área, visam proporcionar condições de minimizar o espalhamento da contaminação.

Os principais impactos envolvem fatores como localização afastada de núcleos urbanos, a disponibilidade de material argiloso para atividades de impermeabilização e cobertura, área com lençol freático profundo, não apresentar supressão vegetal significativa, estar afastado de coleções hídricas, nascentes e córregos, apresentar área suficiente para vida útil adequada e utilização de pouco equipamento, priorizando a mão de obra local. A capacidade de atenuação dos solos tropicais, presentes nas bases dos aterros ou lixões deve ser cuidadosamente examinada (CORREA *et al.*, 2003; TEIXEIRA & FERNANDES, 2003; BENVENUTO, 2004). Segundo BERRIOS (1986), constituem fatores a serem considerados durante os processo de escolha de áreas onde se pretende dispor resíduos sólidos urbanos: a geologia local, a hidrologia,

características físicas superficiais, vias de acesso, proximidade das cidades, direção dos ventos, preço da terra, entre outros

A tendência mundial sugere a adoção de listas orientadoras com valores de referência de qualidade, de alerta e de intervenção, como uma primeira etapa nas ações de monitoramento da qualidade, prevenção à poluição e diagnóstico de áreas suspeitas de contaminação, remetendo a avaliação de risco caso a caso para as áreas contaminadas. Cabe ressaltar que o uso de padrões internacionais pode levar a avaliações inadequadas, já que existem diferenças nas condições climáticas, tecnológicas e pedológicas de cada país, justificando o desenvolvimento de listas orientadoras próprias, compatíveis com as características de cada um deles (CETESB, 2001).

Portanto, cada Estudo de Impacto Ambiental deve contemplar uma matriz específica dos impactos ambientais decorrentes da atividade. No caso de áreas de disposição de resíduos sólidos, devem ser observados os aspectos e correlatos impactos ambientais apresentados na Tabela 2.5.

Uma vez identificados os impactos ambientais pertinentes a cada área, pode-se utilizar a análise de risco ambiental como ferramenta para quantificação de impactos e estabelecimento de prioridades no âmbito das ações mitigadoras. A função destes valores numéricos é prover uma orientação quantitativa no processo de avaliação de áreas contaminadas e à tomada de decisão sobre as ações emergenciais, com vistas à proteção da saúde humana (CESTESB, 2001). Os diagnósticos ambientais, se uma área está ou não poluída, são realizados normalmente através de métodos geoestatísticos, comparando a quantidade presente de elementos poluidores presentes na área de trabalho com valores de referência obtidos junto a áreas não contaminadas (AMINI *et al.*, 2005).

TABELA 2.5 - MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Aspecto	Impacto	Ações Mitigadoras
MEIO FÍSICO (solo, ar, água)	Contaminação do lençol freático	Seleção dos resíduos recebidos
		Impermeabilização das fundações dos Aterros
		Armazenamento de percolados em reservatório impermeabilizado
		Encaminhamento do chorume ao Sistema de Tratamento.
		Coleta dos percolados gerados
	Estabilidade e recalques dos maciços	Realizar o monitoramento geotécnico da área
		Compactação eficiente dos resíduos
		Geometria adequada em relação às características dos resíduos
		Monitoramento das pressões neutras geradas no maciço
		Implantação de sistema de drenagem de águas pluviais
	Emissão de gases e odores	Plantio de vegetação nos taludes
		Disciplinar, drenar e tratar
		Implantação de cortina vegetal
Implantação de drenos de gases com queimadores		
	Resíduos expostos	Utilização dos gases para aproveitamento energético
		Sistemas de cobertura operacional e final
	Obstrução da drenagem pluvial	Implantação de barreira vegetal
		Projeto com isolamento da área dos resíduos
	Contaminação no solo	Prevenção de assoreamento
		Realizar coberturas diárias dos resíduos e selo final com camadas impermeabilizantes
MEIO BIÓTICO	Remoção da Cobertura Vegetal e Perda de Habitats	Realizar coberturas diárias dos resíduos e selo final com camadas impermeabilizantes
	Interferência com as Comunidades Animais	
	Interferência com a Fauna Aquática	
	Proliferação de vetores	Utilização de áreas de infiltração de chorume tratado em locais cujo solo é de baixa permeabilidade
		Distância adequada de núcleos habitacionais
Deslocamento de aves e animais silvestres	Manutenção do equilíbrio do ecossistema através de cuidados com: cobertura diária do aterro, construção de canalizações drenantes, etc.	
		Plantio de mudas que sejam atrativas aos animais (frutíferas) em áreas apropriadas

TABELA 2.5 - MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTAIS (Continuação)

MEIO ANTRÓPICO	Alteração da paisagem	Implantação da cortina vegetal
		Compensação ambiental com reflorestamento de área de com espécies nativas
	Geração de ruídos	Implantação da cortina vegetal
		Distância adequada de núcleos habitacionais
	Desvalorização imobiliária	Revitalização da área de disposição pós-uso
	Catadores	Cercamento da área e sistema de segurança e controle
		Implementação de Programa de Coleta Seletiva junto à população
		Implementação de Programas de Educação Ambiental
	Incremento do trânsito das vias de acesso	Reforços no pavimento
		Criação de acessos alternativos
		Sinalização adequadas das vias
		Regulagem de motores para as máquinas para minimizar a poluição do ar por gases e ruídos

FONTE: ADAPTADO DE BENVENUTO (2004)

Segundo VISSER (1994), as metodologias utilizadas por agências ambientais de diferentes países, para tomada de decisão sobre áreas suspeitas de contaminação, podem ser diferenciadas nas que utilizam valores numéricos orientadores pré-estabelecidos, com ou sem diferenciação do uso do solo e nas que se baseiam na avaliação de risco caso a caso (CETESB, 2001). Uma das metodologias propostas por TEIXEIRA & FERNANDES (2003) contempla aspectos geológicos, pedológicos e condições de contorno acerca da disposição dos resíduos. Os pesquisadores estabeleceram critérios e atribuíram valores a estes, como mostrado na Tabela 2.6, a fim de classificar áreas de disposição de resíduos do município de Londrina e região. Este estudo pode, se aplicado aos aterros dos municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré, atuar como fonte de comparação por estarem localizados em ambientes semelhantes.

Uma dificuldade encontrada, quando do uso de valores numéricos preestabelecidos, é saber como lidar com as condições específicas de cada local, em relação ao tipo de contaminante, propriedades, uso do solo e situação hidrogeológica. Conseqüentemente, contaminações similares não resultam necessariamente em riscos similares. O risco varia com a exposição, para a qual, a disponibilidade do poluente é um fator importante. Então, a aplicação de valores numéricos não deverá ser utilizada

para fornecer respostas universais às questões específicas associadas à poluição de solo e águas subterrâneas (CETESB, 2001).

TABELA 2.6 – CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS SELECIONADAS COMO POTENCIALMENTE APTAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Indicadores técnicos ambientais e geotécnicos	Atributos	CI	Níveis			
			Favorável	Moderado	Severo	Restrito
Solo	Permeabilidade k (cm/s)	1,0	10^{-5} - 10^{-7}	10^{-3} - 10^{-5}	10^{-1} - 10^{-3}	$> 10^{-1}$
	Composição (textura)	1,0	argila	silte	areia	pedregulho
	Declividade	1,0	2 - 5	5 - 15	15-20	>20
	CTC (meq/100g)	0,5	>15	5 - 15	5-2	<2
	Disponibilidade de material de empréstimo nas adjacências	1,0	Boa	boa	média	Deficiente
	Espessura da camada de solo (m)	2,0	> 10 m	7 - 10	5 - 7	< 5
	Estabilidade dos maciços	1,0	alta	média	baixa	Instável
	Suscetibilidade a processos de dinâmica superficial	0,5	não	potencial	ocorre	grave
	Capacidade de carga	0,5	boa	x	x	Ruim
	Capacidade de compactação	1,0	boa	x	x	Inadequada
Profundidade do nível de água	2,0	> 10 m	5 – 10 m	4 a 2 m	<2 m	
Substrato rochoso	Descontinuidade (fraturas , falhas)	1,0	Não	Não	Muito fraturado	Muito fraturado
Relevo	Formas do relevo	1,0	suave	medianamente ondulado	ondulado	acidentado

FONTE: TEIXEIRA& FERNANDES (2003)

As avaliações de risco caso a caso são indicadas para áreas complexas contaminadas em relação ao seu tamanho e ao número de contaminantes presentes, com altos custos de remediação envolvidos. Segundo CUNHA (1997), os seguintes fatores determinam a existência de incertezas associadas à avaliação de risco:

- ausência de dados toxicológicos para um grande número de substâncias e para algumas vias de exposição;
- desconsideração da dependência da ação entre as substâncias envolvidas (sinergismo ou antagonismo), o que pode resultar na sub ou superestimativa do risco decorrente da exposição a múltiplas substâncias;

o emprego de dados relativos à exposição impróprios à população avaliada, quando adotados valores desenvolvidos para populações de outros países.

Mesmo com as limitações acima discutidas, o critério numérico tem vantagens, como por exemplo, rapidez e facilidade de implantação; indicar o grau de poluição; ser utilizado como fonte de informação, facilitando e democratizando o planejamento das ações; ter coerência com a política de controle de poluição, através de padrões ambientais; reduzir influências políticas locais; uniformizar as ações de controle e ser utilizado como base comparativa em monitoramento para avaliar a eficiência da remediação de solos e águas subterrâneas contaminados (CETESB, 2001).

Os valores orientadores obtidos com base no critério de uso do solo, assim como outros procedimentos de avaliação ambiental, envolvem algumas questões de ordem prática, como, a definição do cenário, nos casos em que ocorrem mais de uma possibilidade de uso do solo; a quantificação de um grande número de variáveis e a necessidade de lidar-se com as incertezas em todos os estágios da derivação de critérios numéricos, o que também é inerente às metodologias de avaliação de risco (CETESB, 2001).

Os sistemas de controle e monitoramento ambientais atualmente exigidos pelos órgãos ambientais são questionáveis devido a limitações de cunho prático. Pode-se citar como exemplo a pesquisa desenvolvida por HAMADA *et al.* (2002a) onde fica evidenciado que poços de monitoramento de água subterrânea se construídos de modo a atingir superficialmente os aquíferos mascaram, por vezes, a real situação mesmo atendendo às exigências legais. HAMADA *et al.* (2002a) questionam ainda as limitações das técnicas de SPT e piezocone, práticas convencionais utilizadas na engenharia.

A tendência é de que a situação melhore haja vista que aterros sanitários construídos utilizando a tecnologia atual disponível podem ter impactos mínimos ao meio ambiente. Cuidados com o confinamento, impermeabilização, drenagem, comportamento do chorume gerado permitem que os antigos lixões sejam substituídos por aterros controlados (JUCÁ, 2002).

2.14 AÇÕES MITIGADORAS E REMEDIAÇÃO

As técnicas de remediação de uma área consistem na elaboração de um bom projeto de caracterização da área no qual fica estabelecida restrição de acesso ao local, restrições de uso e ocupação do solo e restrições de uso das águas superficiais e subterrâneas para que sejam tomadas ações visando a descontaminação do meio afetado (BISORDI *et al.*, 2004). A maioria das legislações preconiza que a remediação deve ser encerrada quando um determinado valor de concentração de poluente é atingido. Este pode ser igual ou menor ao valor de alerta, que é estipulado por órgãos ambientais ou pela comunidade científica como um valor limite para a que uma área seja caracterizada como contaminada, dependendo do cenário em que a área contaminada se insere (CETESB, 2001).

A recuperação de aterros sanitários requer um conjunto de ações a serem tomadas, planejadas e executadas de forma a conferir ao local condições sanitárias, de controle e de segurança satisfatórias. Após o encerramento do aterro também deve estar prevista a reintrodução da flora original no entorno da área, bem como o plantio de espécies adequadas sobre a área do aterro. (IPT, 1995; BISORDI, 1999, citado por THOMÉ, 2003).

Como alternativas para usos futuros da área, pode ser sugerida a reutilização da área para depósito de mais material, uma vez que as acomodações da massa do aterro geram um volume adicional, ou ainda, o reaproveitamento do local como área de lazer como parques, campos de futebol, entre outros. Entretanto, deve-se atentar para a impossibilidade de se alojar construções civis sobre a área de um aterro sanitário encerrado enquanto houver atividade microbiológica na massa dos resíduos compactados. Este cuidado deve ser tomado em decorrência dos recalques diferenciais que a estrutura possa ter, o que pode resultar em ruptura da estrutura de base. Outro aspecto que contribui para a não ocupação civil da área é a emissão de gases, que podem ocasionar explosões e intoxicações.

Uma vez isolado o local e regulamentadas as restrições de uso das águas e solo, a área esta pronta para receber as intervenções necessárias à remediação que passa pelas técnicas de redistribuição, contenção por barreiras hidráulicas e física e finalmente a descontaminação das águas subterrâneas. A redistribuição consiste na escavação e remoção de resíduos e solos contaminados que estejam localizados em local impróprio, devendo ser transportados para áreas licenciadas, de preferência, dentro do próprio sistema (BISORDI *et al.*, 2004).

Os impactos ambientais potenciais decorrentes do encerramento de uma área de disposição de resíduos deve considerar, segundo BENVENUTO (2004):

- Manutenção das estruturas e sistemas componentes dos aterros;
- Destino final da área;
- Monitoramento periódico até a inertização dos resíduos;

Pesquisas recentes (CHEN *et al.*, 2004; JAIN *et al.*, 2004) mostram que técnicas de fitoextração só são possíveis com a adição de suplementos ao solo, por exemplo o EDTA, para aumentar a “biotolerância” (bioavailability) a metais pesados em solos. Entretanto, EDTA e seus complexos formados com os metais pesados são tóxicos a plantas e a microorganismos existentes no solo, podendo ser carregados para a água subterrânea, causando poluição ambiental. O estudo realizado por CHEN *et al.* (2004) mostrou que elementos como Pb, Cu, Zn e Cd apresentaram re-absorções de 98%, 54%, 41% e 88%, respectivamente, quando utilizada a gramínea vetiver (*Vetiveria zizanioides*). O emprego de técnicas de biorremediação como estas evitam que grande parte dos metais pesados existentes no solo contaminado por metais pesados contamine os aquíferos locais.

A geotecnia contribui também com o tratamento do percolado através de soluções integradas de barreiras passivas ou reativas de solos, associadas à fito-remediação em leito granular (JUCÁ, 2004). A contenção por barreiras físicas consiste na aplicação de camadas impermeabilizantes de material sintético ou natural sobre toda a superfície superior da área que esta sendo remediada com a principal finalidade de impedir a penetração de águas pluviais ou vazamento de gases pela superfície (BISORDI *et al.*, 2004; SCHIANETZ, 1999).

As barreiras hidráulicas são trincheiras profundas executadas a jusante da área com o objetivo de interceptar o lençol freático possibilitando a instalação de um conjunto de motores e bombas recalçando essas águas contaminadas para a superfície. A descontaminação das águas subterrâneas, se a contaminação for de origem biológica, pode acontecer nas unidades de tratamento convencionais projetadas para o chorume, porém se a contaminação apresentar substâncias complexas existe a necessidade de se estudar novas tecnologias para tratamento (BISORDI *et al.*, 2004).

Acerca da melhoria da eficiência dos sistemas de tratamento de chorume existente em aterros, sabe-se que estes devem possuir controle e monitoramento freqüentes. Há uma tecnologia nova, testada por LOPEZ *et al.* (2004), que implica na adição de um pré-tratamento ao chorume, denominado Fenton, que consiste na utilização de $\text{Fe}^{2++} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+$. Este composto é utilizado com o propósito de se aumentar a degradabilidade do chorume, facilitando a precipitação de compostos e melhorando a qualidade do efluente. O trabalho sugere que são necessários estudos mais aprofundados sobre o assunto para tornar a técnica economicamente viável, apesar da melhoria nos padrões do efluente pós-tratamento. Medidas como controle de pH e monitoramento contínuo se fazem necessários, o que onera bastante a operação do aterro, para o sucesso na aplicação desta técnica.

Uma das possibilidades citadas por SCHIANETZ (1999) para utilização da técnica de infiltração de chorume tratado no solo é troca periódica da camada de solo superficial da área de infiltração. Este solo, após ter atingido o limite de sua capacidade de sorção, pode ser utilizado como impermeabilizante superficial no aterro. A área de infiltração deverá então receber uma nova camada de argila com propriedades tais que impeçam, através de suas propriedades naturais, a contaminação do lençol freático pela ação do chorume tratado sobre ela disposto.

JAIN *et al.* (2004) realizaram um estudo para caracterizar os resíduos e os solos de cobertura de aterros norte-americanos a fim de viabilizar o aproveitamento destes materiais, dentre resíduos e solos, em outros locais após a completa estabilização dos resíduos. Segundo os autores, esta técnica permitiria que fossem utilizadas novamente as mesmas valas para a disposição de novas quantidades de

resíduos. Ao confrontar os resultados obtidos com os parâmetros legais do Reino Unido, dos Estados Unidos e da Holanda constataram que os níveis de metais encontrados em campo eram inferiores aos legais, para a maioria dos casos. Entretanto, asbesto, berílio e cádmio apresentaram níveis bastante elevados, tornando a prática da reutilização destes solos e resíduos “inertizados” bastante questionável, pois a eles são atribuídos efeitos carcinogênicos. Isto levou os autores a concluir que a continuação dos estudos seria necessária antes da utilização desta tecnologia.

Durante o levantamento bibliográfico, constatou-se que as pesquisas e as tecnologias têm avançado de modo a atender a demanda das municipalidades. Várias técnicas e abordagens metodológicas têm se mostrado eficientes na avaliação, operação, gestão e controle do processo de destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Em âmbito nacional, municipalidades esbarram na falta de recursos ou na má gestão destes que, por vezes, colocam-se à frente da melhor solução, em termos técnicos e sociais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho envolve a realização de pesquisa bibliográfica inerente ao assunto, os levantamentos de campo, a elaboração de mapas, as coletas de amostras para caracterização, os ensaios laboratoriais, o diagnóstico ambiental e a proposição de adequações e melhorias.

Os levantamentos de campo foram realizados em 3 campanhas e visaram ao conhecimento do local de estudo, o registro fotográfico das duas áreas de estudo, a elaboração de mapas, a coleta de dados e amostragens, a identificação das áreas e as situações ambientalmente desfavoráveis. As campanhas foram realizadas nos meses de maio e setembro de 2004 e março de 2005. Estas aconteceram em situações opostas: a primeira aconteceu em meio a um período de alta pluviosidade enquanto a segunda e a terceira em meio a um longo período de estiagem.

O diagnóstico ambiental contempla dois tipos de levantamentos distintos e conexos: os aspectos ambientais e os impactos ambientais. O levantamento dos aspectos ambientais de um aterro sanitário implica, na atualidade, tanto na determinação de fatores ambientais propriamente ditos, como na análise de fatores sócio-econômicos, culturais, de gestão, políticos e legais. Para isto, devem ser avaliados os meios físico, biótico e antrópico. O levantamento dos impactos ambientais foi dividido em impactos ao meio físico, à biota e ao ambiente sócio-econômico-cultural e encontram-se no capítulo 4 inerente aos resultados da pesquisa.

Por se tratarem de duas áreas de estudo próximas, optou-se por apresentar de forma agrupada as características comuns ou semelhantes, como localização e vias de acesso, geologia, pedologia, clima, hidrografia, regime hídrico e pluviosidade e biota. As particularidades de cada área de estudo são apresentadas na seqüência.

3.2. ÁREAS DE ESTUDO

Com o intuito de aliar os conhecimentos teóricos acerca das técnicas de disposição de resíduos sólidos e a avaliação de sua eficiência em termos práticos, foram escolhidas duas áreas de estudo. A escolha de duas realidades diferentes, os métodos de aterramento utilizado em um município de pequeno porte, caso de Barra do Jacaré com população total de 2.723 habitantes, e outro de médio porte, caso de Jacarezinho com população total de 39.580 habitantes, deram-se com a finalidade de comparar a eficiência e os problemas originados pela disposição de resíduos em diferentes escalas.

Embora as conseqüências ao meio ambiente sejam semelhantes, em ambos os casos existem peculiaridades locais, de escala, gestão e gerenciamento. Portanto, para este estudo optou-se por utilizar dois municípios próximos, configurando condições ambientais semelhantes, que pertencem a uma região do estado carente de dados e estudos científicos voltados a esta área. Uma das funções da Universidade pública em suas atividades de extensão, é atuar junto à sociedade por meio de estudos científicos que forneçam subsídios para tomada de decisão de gestores da coletividade.

3.2.1 Localização e Vias de Acesso

A escolha dos municípios de Barra do Jacaré e Jacarezinho foi fundamentada nos estudos realizados por RAMOS (2004) e SANTOS (2003). O estudo de RAMOS (2004) diagnosticou as condições de operação de aterros sanitários de todas as regiões do Estado do Paraná, dentre as quais destaca-se como bastante problemática a região nordeste paranaense. A localização as vias que dão acesso aos municípios em questão estão apresentadas nas Figuras 3.1 e 3.2 abaixo:

3.2.2 Geologia

Os municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré situam-se geologicamente na chamada Bacia Sedimentar do Paraná, uma vasta bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre a crosta continental, e preenchida por 6.000 metros de rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Siluriano e o Cretáceo. Esta representa a superposição de pacotes depositados, no mínimo, em três diferentes ambientes tectônicos decorrentes da dinâmica de placas que conduziu a evolução do Continente Gondwana no tempo geológico (ZALÁN et al, 1987).

Os municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré posicionam-se nas unidades estratigráficas de topo da Bacia pertencentes ao final da Era Paleozóica – Formação Rio do Rasto, de idade Permiana e a Era Mesozóica, idades entre 230 a 140 milhões de anos que envolvem os pacotes sedimentares correspondentes às Formações Pirambóia e Botucatu (JTpb), pertencentes ao Grupo São Bento, dos períodos Jurássico – Triássico.

A Formação Rio do Rasto é constituída por siltitos e argilitos avermelhados com arenitos finos intercalados. Siltitos e arenitos esverdeados muito finos e bancos de calcarenitos. Estratificações plano-paralela e cruzadas; proeminentes marcas de ondas. São sedimentos depositados em ambientes fluviais e de planícies deltáica e de marés.

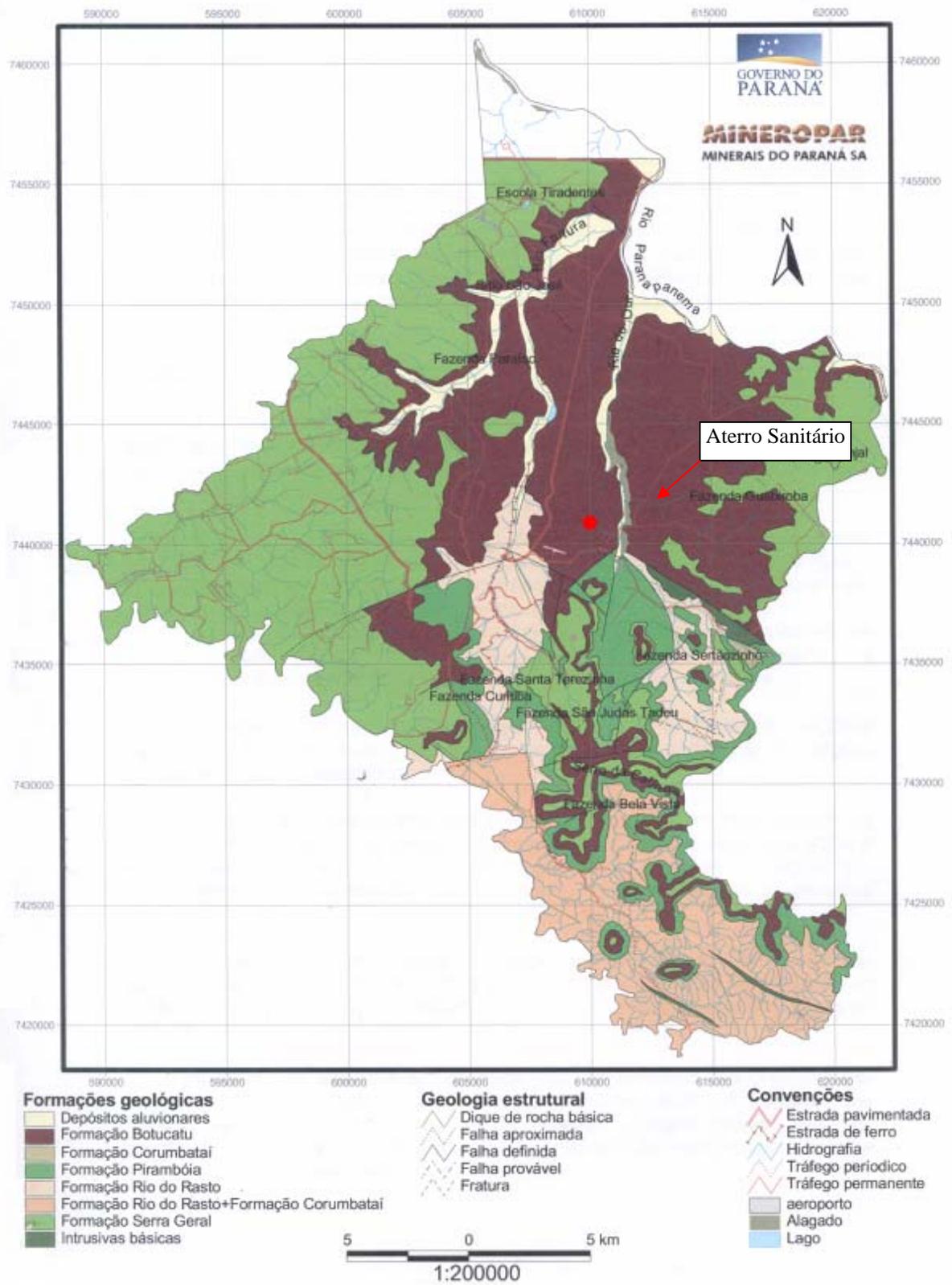
As Formações Pirambóia e Botucatu são compostas por arenitos finos a médios esbranquiçados, e bancos de siltitos avermelhados com raros conglomerados. Notável estruturação sedimentar representada por estratificação cruzada de pequeno a grande porte, correspondentes a depósitos de planícies aluviais seguidos por depósitos de dunas em ambiente desértico. Este imenso deserto é coberto pelo maior derrame de lavas basálticas conhecido no planeta, a Formação Serra Geral (JKsg). Este vulcanismo, com datações geocronológicas em torno de 130 milhões de anos, é do tipo fissural e representa o mais importante evento magmático que registra a abertura do Oceano Atlântico Sul (PAULIPETRO, 1980).

A Formação Serra Geral com espessuras superiores a 1.500 metros é constituída por rochas cristalinas vulcânicas e por delgadas intercalações de sedimentos, brechas e tufos intertrapeanos. Dentre as vulcânicas predominam amplamente os termos litológicos básicos (basaltos) sobre os intermediários e ácidos (andesitos) (MINEROPAR, 1986).

Todo o município de Barra do Jacaré e cerca da metade da superfície de Jacarezinho encontram-se sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. No restante do território de Jacarezinho aflora a seqüência sedimentar da Bacia com ampla predominância dos pacotes arenosos da Formação Botucatu.

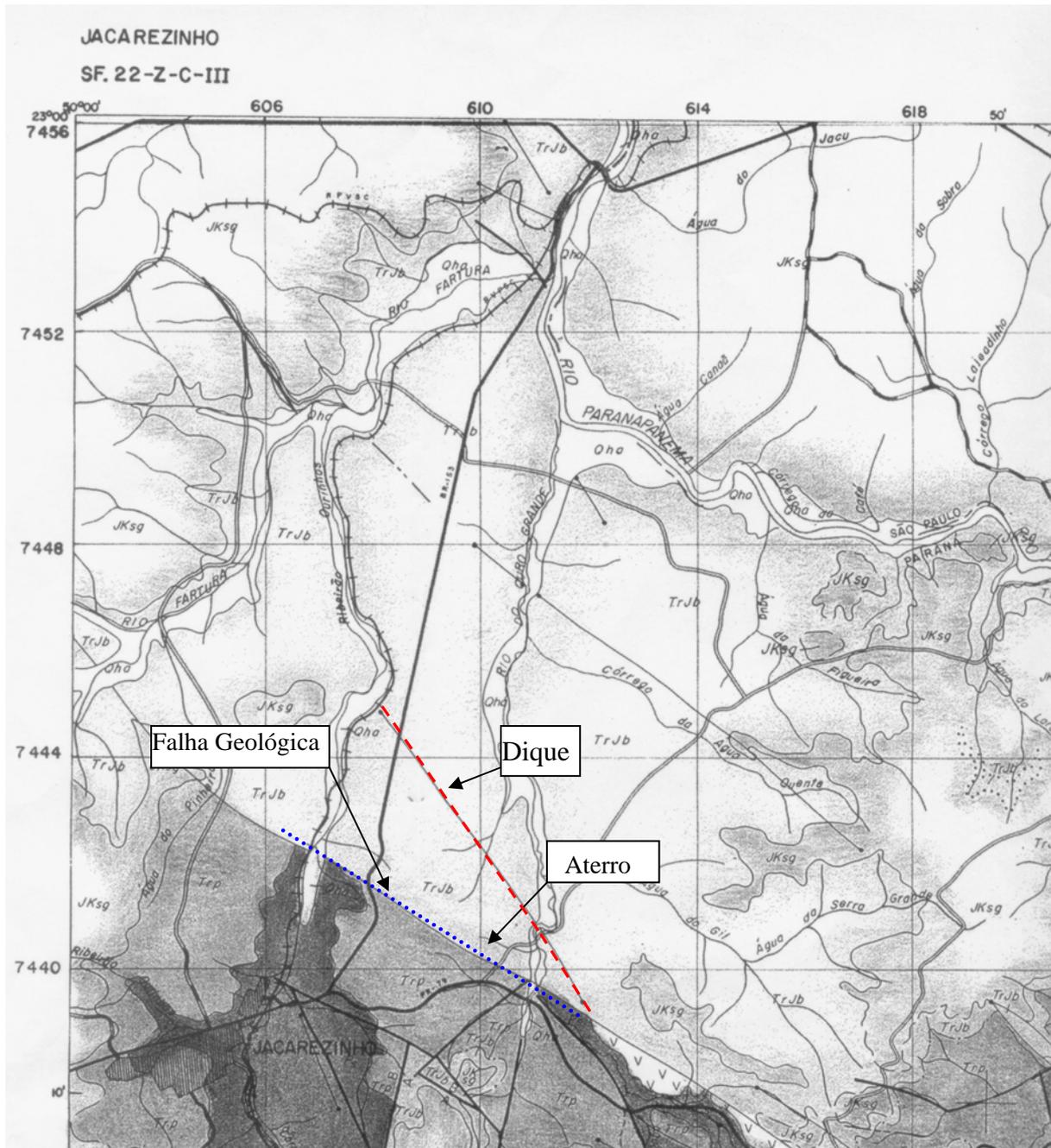
Segundo as cartas geológicas realizadas pela MINEROPAR (2003) e pelo Consórcio Paulipetro IPT-Cesp (PAULIPETRO, 1980), o aterro de Jacarezinho foi construído sobre sedimentos da Formação Botucatu. A relevância do fato, indica de antemão que não foram considerados os aspectos geológicos na escolha da área de implantação desse depósito de resíduos. O aterro acha-se locado sobre uma seqüência de arenitos avermelhados, finos a médios, quartzosos e friáveis, altamente vulneráveis à contaminação. A alta permeabilidade dessa unidade litoestratigráfica fez com que se constitua num excelente reservatório de água, o conhecido Aquífero Guarani. O erro na escolha locacional pode ser avaliado como um fato grave, tendo em vista que o município dispõe à oeste, de terrenos com embasamentos argilosos muito mais propícios a abrigar um aterro de resíduos. Agravante à má escolha da localização litológica – arenito – está a localização geológica estrutural da área, numa interseção de falhas geológicas que delimitam um bloco estrutural, como é mostrado na Figura 3.3.

FIGURA 3.3 – GEOLOGIA DO ATERRO DE JACAREZINHO



FONTE: MINEROPAR (2003).

FIGURA 3.4 – FALHAS E CONTATOS GEOLÓGICOS PRÓXIMOS AO ATERRO



FONTE: PAULIPETRO (1980)

A análise geológica – estrutural com a determinação de falhas e contatos geológicos é fundamental na avaliação da susceptibilidade de aquíferos subterrâneos. Pode-se observar que o aterro de Jacarezinho está localizado num bloco estrutural delimitado e muito próximo a uma falha geológica de gravidade (superfície de fratura de rochas em que ocorre deslocamento relativo entre os dois blocos de um lado e de outro desta superfície) representada em azul na Figura 3.4, e a um dique (corpo ígneo

intrusivo tabular subvertical de rocha diabásica que corta as estruturas planares das rochas encaixantes), representado por uma linha vermelha tracejada, ambos de direção noroeste. Desta forma a sucessão estratigráfica arenosa acha-se descontinuada pelas estruturas geológicas subverticais, (falha e dique) favorecendo o aparecimento de zonas permeáveis e aumentando significativamente a exposição e a fragilidade de contaminação aquífero.

A possibilidade de o aterro de Jacarezinho estar contaminando o subsolo torna a questão bastante preocupante uma vez que a área de disposição de Jacarezinho acha-se na zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani, que é um vasto reservatório subterrâneo de água na Bacia do Paraná, que inclui as rochas psamíticas das Formações Pirambóia e Botucatu (STRUGALE *et al.*, 2004). O Sistema Aquífero Guarani constitui-se na principal reserva de água subterrânea de todo o continente sul-americano, sendo importantíssima, em termos globais, sua preservação como fonte alternativa de água potável.

3.2.3 Pedologia

O Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada são as principais formações pedológicas encontradas na região dos municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré. Em Jacarezinho, os solos ocorrentes são representativos do resultado da interação de um clima mesotérmico úmido subtropical sobre rochas sedimentares horizontalizadas de composição textural fina, baixa permeabilidade e rochas magmáticas cristalinas. Para as rochas sedimentares predominam solos minerais não hidromórficos com horizonte B textural e boa diferenciação entre os horizontes A, B, C, os Podsolos vermelhos-amarelos. Quando o horizonte B é pouco desenvolvido, em geral nas áreas de declividade mais acentuada (>8%) passam a solos Litólicos e/ou Cambissolos. Nas várzeas e cabeceiras de drenagens, onde os terrenos se mantêm saturados em água praticamente durante todo o ano, ocorrem solos hidromórficos, ou gleissolos (EMBRAPA, 2003, citado por MINEROPAR, 2003).

Os latossolos constituem uma categoria de solos maduros que apresentam horizonte B bem desenvolvido, de composição argilosa, homogêneo, poroso e cor arroxeada. Estes são quimicamente estáveis devido à baixa capacidade de troca de cátions de suas argilas, que são predominantemente cauliníticas, bem como a abundância de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. O alto grau de flocculação das argilas, a homogeneidade estrutural, as altas porosidade e permeabilidade e a ocorrência preferencial em locais de relevo suave conferem aos latossolos uma resistência natural à erosão. A homogeneidade de composição e estrutura, por sua vez, acarreta um comportamento geotécnico bastante uniforme, colocando-os dentro de um único grupo da Classificação Unificada dos Solos (SUCS), correspondentes aos siltes argilosos de média a alta compressibilidade (EMBRAPA, 2003, citado por MINEROPAR, 2003).

O aterro de Barra do Jacaré está inserido em uma região onde ocorrem os Latossolos. Embora os latossolos admitam escavações e terraplenos com taludes de alturas elevadas, devido à alta resistência ao cisalhamento, cuidados devem ser tomados para não se permitir que vertentes maiores do que 8-10cm sejam erodidas por escorrimento superficial. A Terra Roxa Estruturada é uma variedade de latossolo com estruturação prismática ou em blocos de alta cerosidade no horizonte B, que se desenvolve em relevos mais ondulados, com declividades de 8 a 20%. Ao contrário do Latossolo Roxo, os horizontes são mal diferenciados e de limites difusos (MINEROPAR, 2003).

O aterro de Jacarezinho está inserido em uma região onde predominam os Podsolos, principalmente o vermelho amarelo e o vermelho amarelo álico. Estes são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, argila tendo de atividade baixa quanto alta, seqüência de horizonte A, B_t, C e com variedades eutróficas, distróficas e álicas. A textura varia desde arenosa média até média/muito argilosa. O horizonte A, para as variedades de textura arenosa, apresenta estrutura fraca e consistência solta, tanto com o solo seco quanto úmido, não plástico e não pegajoso quando molhado. A medida que se considera variedades com maiores teores de argila, a estrutura torna-se mais desenvolvida, com consistência ligeiramente duro, friável plástico e pegajoso, com solo seco, úmido e molhado, respectivamente

(MINEROPAR, 2003). Este tipo de solo foi observado na área de infiltração do chorume tratado do aterro sanitário de Jacarezinho.

Os podsolos, originados predominantemente de rochas sedimentares silto-argilosas tem erodibilidade moderada a alta, característica que se acentua com a passagem do horizonte B para o C. Nas variedades derivadas do arenito da Formação Botucatu constata-se normalmente um baixo grau de flocculação nos horizontes superficiais e este fato associado com a mudança textural que muitas vezes chega a ser abrupta e com a situação topográfica em que pode ocorrer esta variedade, propicia ou favorece a erosão, que, em certos casos, pode tornar-se catastrófica, desenvolvendo verdadeiras voçorocas (MINEROPAR, 2003).

Os podsolos, embora possam ser utilizados no corpo de obras de terra compactadas, devem ser evitados como camada final de terraplenagem, seja como subleito de estrutura de pavimentação, seja como pista de rolamento de estradas de leito natural, devendo sempre utilizar alguma camada de reforço com material selecionado. Em presença de água piora muito o seu desempenho como material de construção, sendo sempre necessária cuidadosa drenagem das obras envolvidas.

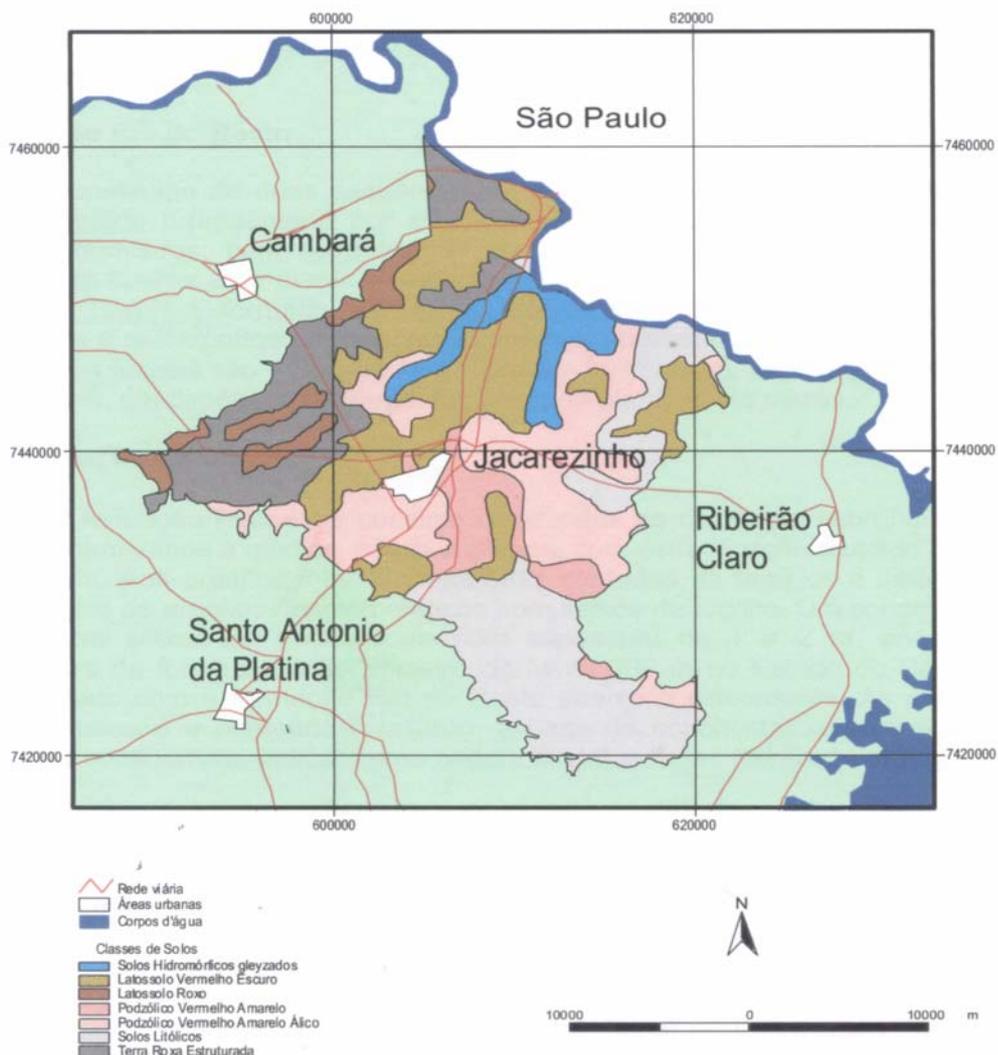
Acerca da utilização da caracterização de solos, em especial àqueles semelhantes aos encontrados em Barra do Jacaré, pode-se citar o estudo realizado por SANTOS (2003) no lixão do município de Rolândia.

Segundo a classificação estabelecida no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (1981) do Ministério da Agricultura, em Barra do Jacaré e parte do município de Jacarezinho predominam solos dos tipos LRe2 e TRe3, muito semelhantes aos de Rolândia (Tre3 e LRd2). Em 1999, a EMBRAPA sugeriu uma nova classificação para esses tipos de solo, nomeando em Latossolo Vermelho e Nitossolo, respectivamente. O tipo de solo predominante é o latossolo, principalmente o roxo, que é um solo profundo de alta fertilidade, que tem como origem a calha do rio Paraná. Esta formação também pode estar associada a outros tipos de solos, como os arenitos que ocorrem no noroeste do estado. Em sua grande maioria, compreende terrenos suaves (EMBRAPA, 1984). Assim sendo, pode-se considerar como

porosidade efetiva (m_e) de ambos os solos como semelhantes. Os estudos de SANTOS (2003) mostraram permeabilidade efetiva de 0,09 (9%).

Como a geologia do município de Jacarezinho é complexa, os solos se desenvolveram a partir de vários materiais, sendo a litologia integrada por rochas sedimentares de natureza diversa, principalmente por arenitos, siltitos, argilitos, (podzólicos, litólicos, etc). Na porção noroeste da região, ocorrem os solos derivados das rochas eruptivas básicas (terra roxa estruturada, brunizem avermelhado, etc.) sendo os solos encontrados na área de disposição de Jacarezinho classificados como Podzólicos. A classificação mostrada em MINEROPAR (2003), atribui ao solo do aterro de Jacarezinho a classificação de Podzólico Vermelho Amarelo Álico, como mostrado na Figura 3.5.

FIGURA 3.5 – PEDOLOGIA DO ATERRO DE JACAREZINHO



FONTE: MINEROPAR (2003)

TEIXEIRA & FERNANDES (2003) determinaram as propriedades de solos utilizados como barreiras de argila compactada em aterros da região norte do Paraná, mais especificamente em Londrina. Os resultados deste estudo, apresentados na Tabela 3.1, serviram de orientadores para o presente trabalho por ambas as áreas de estudos pertencerem a regiões de geologia e pedologia semelhantes, especialmente no que tange à área de disposição de resíduos de Barra do Jacaré.

TABELA 3.1 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS REFERENTES ÀS TRÊS ÁREAS INVESTIGADAS NO ESTUDO DE TEIXEIRA & FERNANDES (2003)

Características Investigadas	Área 1	Área 2	Área 3
Valores de N (SPT)	variável entre 2 e 42	variável entre 2 e 38	variável entre 2 e 32
Permeabilidade(cm/s)	10^{-3} a 10^{-5}	10^{-5} a 10^{-6}	10^{-3} a 10^{-4}
Composição textural	argila siltosa a silte argiloso, vermelha escura a variegado, mole à dura	argila siltosa a silte argiloso, vermelha escura a variegado, mole à dura	argila siltosa a silte argiloso, vermelha escura a variegado, mole à dura
Declividade	15%	20%	18%
Capacidade de troca catiônica – CTC (meq/100g)	8,45	9,65	9,21
Disponibilidade de material para empréstimo	boa	boa	boa
Espessura da camada de solo (m)	variável entre 3 e 7	variável entre 3 e 7	Variável entre 6 e 14
Estabilidade do maciço (FS)	2,9	2,9	3,2
Suscetibilidade a processos de dinâmica superficial	não	não	não
Parâmetros de compactação	$\gamma_{d_{\text{máx}}} = 1,42 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{ot}} = 33\%$	$\gamma_{d_{\text{máx}}} = 1,44 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{ot}} = 33,5\%$	$\gamma_{d_{\text{máx}}} = 1,39 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{ot}} = 34,5\%$
Capacidade de carga (kPa)	variável entre 25,0 e 525,0	variável entre 25,0 e 475,0	Variável entre 25,0 e 400,0
Rocha identificada	basalto	basalto	Basalto
Profundidade do nível de água (m)	8,60	4,3	5,35
Descontinuidade (fraturas, falhas)	diversas direções e com natureza e diferentes origens	diversas direções e com natureza e diferentes origens	diversas direções e com natureza e diferentes origens
Formas do relevo	suave	suave	suave

FONTE: TEIXEIRA & FERNANDES (2003)

3.2.4 Clima

O clima da região é definido como Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões quentes e tendência à concentração das chuvas (temperatura média superior a 22° C) e invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18° C), sem estação seca definida. O tipo climático, segundo Köppen, que predomina nessa mesorregião é o Cfa.

3.2.5 Hidrografia, Regime Hídrico e Pluviosidade

O córrego que passa ao pé do morro em que o aterro de Barra do Jacaré se insere é chamado de Córrego Água Branca, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Jacarezinho, enquanto o aterro municipal de Jacarezinho está inserido na bacia hidrográfica do Rio das Cinzas e ambos os rios são afluentes do Rio Paranapanema. O rio Paranapanema tem uma extensão total de 929km em um desnível de 570m, desenvolvendo-se no sentido geral leste-oeste.

As nascentes do rio Paranapanema estão localizadas na serra Agudos Grandes, no Sudeste do estado de São Paulo, a aproximadamente 100km da costa Atlântica, numa latitude de 24°51' sul e longitude 48°10' oeste, acima do nível do mar cerca de 900m. O rio Paranapanema, das nascentes até a foz do rio Itararé, corre em território paulista e faz fronteira entre os estados do Paraná e de São Paulo (Ministério dos Transportes, 2004).

No tocante a pluviosidade, a quantidade e a distribuição da precipitação que incide anualmente sobre uma certa região é bastante importante, pois determina o tipo de vegetação e influencia a programação das atividades agrícolas. Assim, épocas de plantio e colheita, atividades mecanizadas e mesmo a escolha de espécies e as variedades de plantas estão intimamente relacionadas com o padrão de precipitação local. A quase totalidade da Mesorregião 406 registra índices pluviométricos anuais em torno de 1.400 mm. Entretanto, na divisa com o Estado de São Paulo, esses índices decrescem para 1.200 mm e apesar dessa média relativamente baixa, a precipitação no

Município de Jacarezinho (estação pluviométrica mais próxima a Barra do Jacaré) oscila entre 1.135 e 3.425 mm / ano.

3.2.5.1 Determinação do balanço hídrico

O balanço hídrico para o município de Jacarezinho e região foi determinado, pela EMBRAPA e pelo INMET através da metodologia desenvolvida por THORNTHWAITTE & MATHER (1955). As tabelas base de cálculo e os gráficos inerentes ao balanço hídrico são apresentados na Tabela 3.1 e nas Figuras 3.1 e 3.2. As siglas mostradas na Tabela 3.2 significam T – Temperatura, P – Precipitação Total Média, ETP – Evapotranspiração Potencial, ARM – Armazenamento, ETR - Evapotranspiração Real, DEF - Deficiência Hídrica, EXC - Excedente Hídrico.

TABELA 3.2 – BASE DE DADOS CLIMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE JACAREZINHO

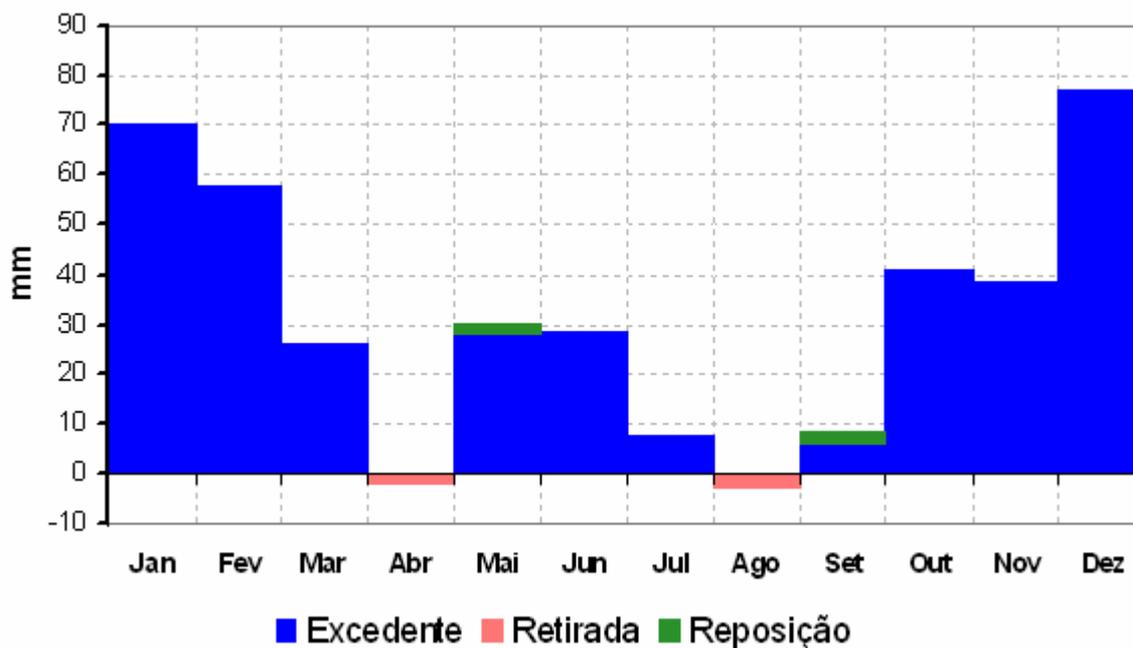
Latitude: 23,15 S Longitude: 49,97 W Altitude: 470 m Período: 1961-1990							
Mês	T (°C)	P (mm)	ETP	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	22,9	180	110	100	110	0	70
Fev	24,7	176	118	100	118	0	58
Mar	23,2	135	109	100	109	0	26
Abr	20,3	72	74	98	74	0	0
Mai	17,5	82	52	100	52	0	28
Jun	15,8	67	38	100	38	0	29
Jul	15,8	47	39	100	39	0	8
Ago	17,5	48	51	97	51	0	0
Set	19,0	71	62	100	62	0	6
Out	21,5	131	90	100	90	0	41
Nov	22,5	140	101	100	101	0	39
Dez	23,2	193	116	100	116	0	77
TOTAIS	243,9	1.342	961	1.195	961	0	381
MÉDIAS	20,3	112	80	100	80	0	32

FONTE : BASE DE DADOS CLIMÁTICOS EMBRAPA/ INMET

A precisão do balanço hídrico é função do histórico analisado. Quanto maior o tempo de coleta de dados hidrológicos, maior a acurácia do balanço hídrico. A utilização de uma base histórica de 29 anos, ou seja, de 1961 a 1990, é suficientemente acurada para utilização neste estudo, com vistas à obtenção do superávit/déficit hídrico

local. O que se observa é superávit hídrico (balanço hídrico positivo) para de Jacarezinho e região, embora nos meses de abril e agosto a precipitação pluvial apresente pequenos déficits. Estes déficit hídricos são repostos nos meses subsequentes, como pode ser constatado pelas marcas de cor verde da Figura 3.6.

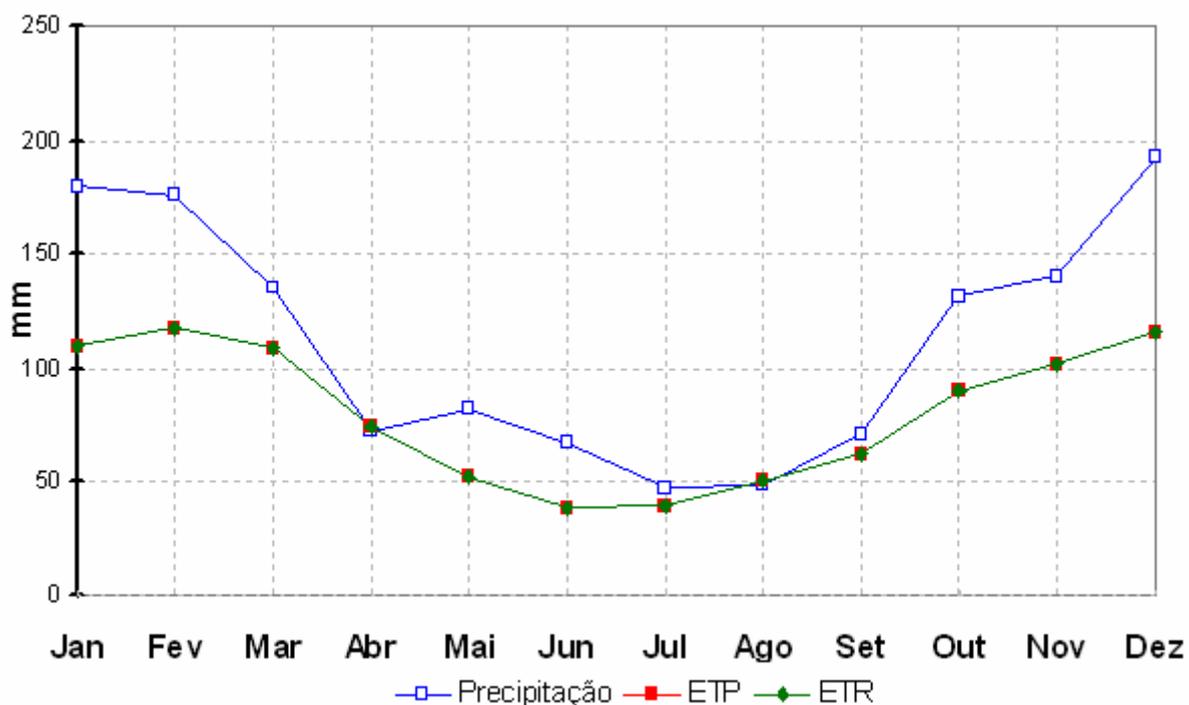
FIGURA 3.6 – DEFICIÊNCIA, EXCEDENTE, RETIRADA E REPOSIÇÃO HÍDRICA AO LONGO DO ANO



FONTE : BASE DE DADOS CLIMÁTICOS, EMPRAPA / INMET

Esta análise é bastante importante no âmbito da disposição dos RSU na medida em que confirma a existência de líquidos, que percolam e lixiviam o aterro e vão para o subsolo, durante quase o ano todo, o que favorece a contaminação do meio e justifica a necessidade de tratamento do chorume. Através do balanço hídrico pode-se também estimar a quantidade de chorume gerado nas células do aterro, para dimensionamento do sistema de tratamento de chorume. O balanço hídrico normal mensal representa a média das precipitações ao longo dos meses. Deve-se atentar para o fato de que as chuvas registradas na Figura 3.1, representam valores médios, devendo a vazão de projeto do sistema de tratamento estar em acordo com a vazão máxima, levando-se em conta o tempo de recorrência das precipitações e seus respectivos coeficientes de segurança. Havendo a necessidade de um cálculo mais refinado, pode-se subtrair a quantidade evaporada, ilustrada na Figura 3.7.

FIGURA 3.7 – BALANÇO HÍDRICO NORMAL MENSAL PARA O MUNICÍPIO DE JACAREZINHO



FONTES : BASE DE DADOS CLIMÁTICOS, EMPRAPA / INMET

3.2.6 Biota

3.2.6.1 Fauna

A região onde se localizam os aterros é essencialmente constituída por áreas agrícolas e campos, com um reduzido número de indivíduos e diversidade, sendo escassos os remanescentes da fauna original. Tal fato pode ser creditado a ocupação antrópica e seus hábitos de caça. Em especial a área do aterro, observam-se urubus, moscas, mosquitos, ratos e tatus em função da abundância de alimentos (restos) encontrados em meio ao lixo. Os moradores do local comentaram sobre a existência ou vestígios de roedores silvestres como preá, furão, rato silvestre, graxaim, tatu, e de répteis como o teiú, jararaca, urutu, cobra-d'água.

3.2.6.2 Flora

Nesta região predomina a Floresta Estacional Semidecidual. Manchas de campo e de campo cerrado ocorrem em pequenas áreas. Segundo o IBGE (1992), o conceito deste tipo de vegetação é condicionado à dupla estacionalidade climática, uma tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada, e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio de inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. Neste tipo de vegetação, a porcentagem das árvores caducifólias, no conjunto florestal e não das espécies que perdem folhas individualmente, situa-se entre 20 e 50%. O latossolo, tipo de solo predominante nesta região, associado ao déficit hídrico existente nesta região reflete nas características da vegetação, que é menos exuberante e mais aberta.

A Floresta Ombrófila Mista é encontrada em uma situação ombrotérmica (precipitação bem distribuída), enquanto a Floresta Semidecidual encontrada sob uma situação transicional e, seguindo mais para o oeste do estado, encontra-se uma região xérica. A diversidade do estrato superior deste tipo de formação é maior do que na Floresta Ombrófila Mista devido à fertilidade do solo, e podem aparecer as seguintes espécies : *Aspidosperma polyneurom* (peroba), *Ficus spp.* (figueiras), *Tabebuia spp.* (ipês), *Cedrella fissilis* (cedro), *Cordia trichotoma* (louro pardo), *Myrcarpus frondosus* (cabreúva). No sub-bosque destacam-se espécies da família *meliceae*. Não se observa a presença de bromélias devido à estação desfavorável.

3.3 ESTUDO DE CASO I – ATERRO MUNICIPAL DE JACAREZINHO

3.3.1 Descrição Geral

O município de Jacarezinho, de acordo com o último Censo (IBGE, 2004), apresentava uma população total de 39.580 habitantes, na ocasião da aplicação do questionário. Entretanto, a população estimada para 1º de julho de 2004 era de 38.992 habitantes. Tomando como base os dados não projetados, a distribuição da população é de 85%, aproximadamente, na área urbana e o restante na área rural. O município apresenta uma taxa de crescimento populacional anual estimada de - 0,68 %, e a área ocupada é de 587,679 km². Em termos de infraestrutura, enquanto a distribuição de água no município é realizada pela iniciativa privada e atende 9.505 domicílios, a coleta de lixo é realizada pela Prefeitura, e atende 9.553 domicílios (IBGE, 2004).

3.3.2 Área de Influência

A delimitação da área de influência de um aterro sanitário é por vezes complexa. Fatores como abrangência da coleta de lixo pública e gestão interferem nesta análise.

Pode-se considerar como área de influência direta do aterro municipal de Jacarezinho o terreno em que este se encontra e as áreas compreendidas em seu entorno, perfazendo um raio de 200 m. Esta marcação delimita quais meios, sejam antrópicos ou ambientais, estariam sujeitos aos impactos diretos do aterro tais como odores e ruídos.

A delimitação da área de influência indireta leva em conta não só os fatores específicos da área como a interação das atividades de coleta, transporte e disposição dos resíduos. Portanto, a área de influência indireta constitui-se no próprio município de Jacarezinho, por este estar sujeito aos impactos correlatos ao aterro, como por exemplo, impactos da destinação dos resíduos, impactos sociais decorrentes de tal

atividade, do transporte de lixo, do uso da bacia em que o aterro se encontra como manancial, entre outros.

3.3.3 Economia

Jacarezinho fundamenta suas atividades, basicamente, no terceiro setor (55% do PIB) e na indústria (34%). Seus principais produtos são cana-de-açúcar, galinha (< 1 semana) e aves de corte . As indústrias predominantes são as de produtos alimentares, de madeira e química (IBGE, 2004).

3.3.4 Política e Gestão dos Resíduos

A operação do aterro municipal de Jacarezinho e as atividades de coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos são gerenciadas pela Prefeitura Municipal. Anualmente, parte do orçamento municipal é obrigatoriamente destinada para a gestão dos resíduos para a limpeza pública. A coleta é realizada diariamente no centro da cidade e três vezes por semana nos bairros. A Prefeitura conta com três caminhões compactadores para as operações na área de aterro.

Neste município não existe programa de coleta seletiva implantado pela prefeitura, entretanto, a seleção dos materiais recicláveis ocorre em uma “central de triagem”, mostrada na Figura 3.8, localizada em instalações adjacentes à área do aterro e é administrada por catadores que trabalham diretamente sobre os resíduos descarregados como mostra a Figura 3.9.

Atualmente, entram em questão aspectos de gerenciamento como geração de energia, venda de créditos de carbono e modelos de concessão (BIDONE & POVINELLI, 1999; DE JORGE, 2004). Tais instrumentos não são de conhecimento dos gestores municipais e poderiam ser aplicados como fonte alternativa de recursos.

FIGURA 3.8 – BARRACÃO UTILIZADO NA PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS



FIGURA 3.9 - CATADORES REALIZANDO TRIAGEM SOBRE ÁREA DE DESCARGA DE RESÍDUOS



3.3.5 O Aterro Municipal de Jacarezinho

Os processos relacionados à destinação final de resíduos sólidos urbanos e à operação de áreas de aterro representam potencial de poluição ambiental e, portanto, devem apresentar, durante os procedimentos de licenciamento ambiental, um estudo de impacto ambiental (CONAMA, 01/86). Para a implantação do aterro, o município de Jacarezinho cumpriu os requisitos legais, estando regularmente inscrito e licenciado junto ao órgão ambiental. Segundo as Diretrizes Municipais, não existe qualquer incompatibilidade do empreendimento com as leis de uso e ocupação do solo municipal.

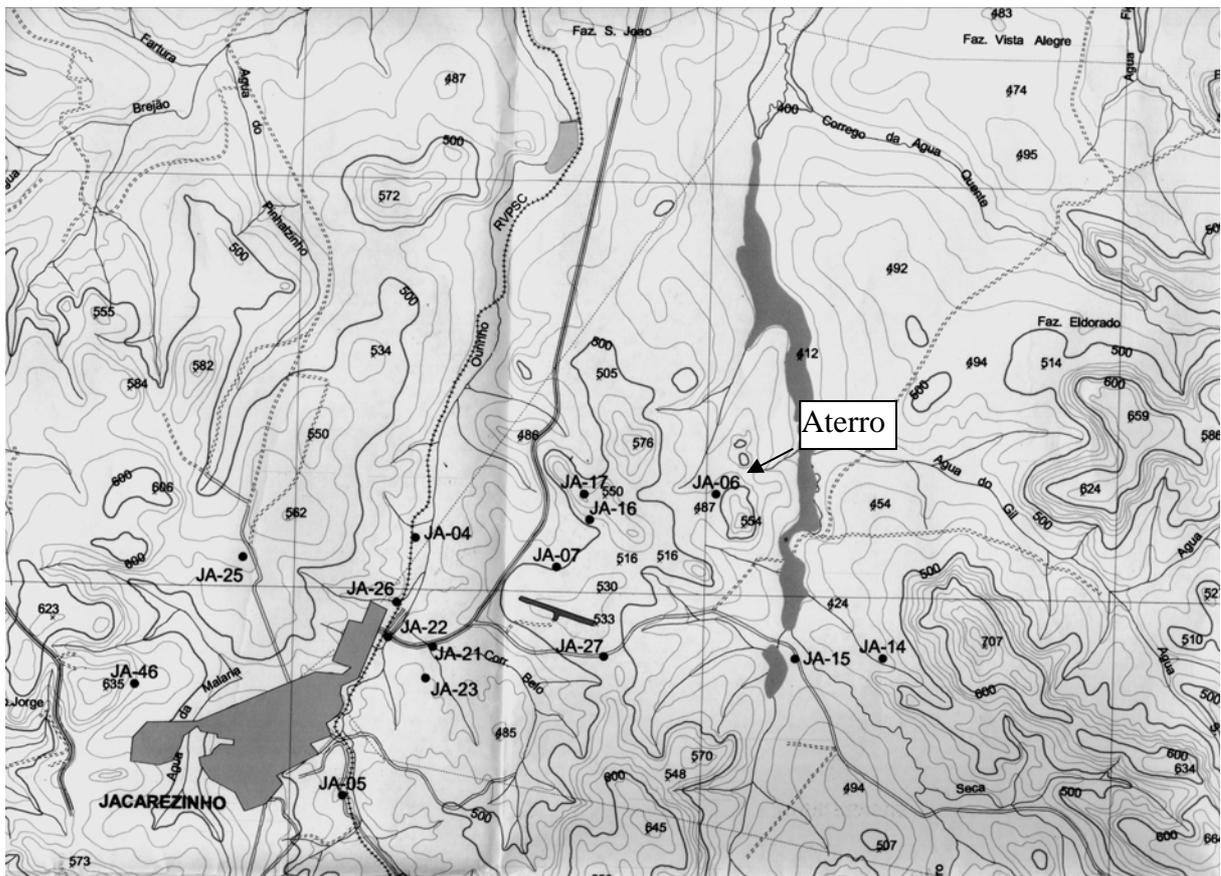
Segundo a bióloga Adriana de Fátima Ferreira (IAP, contato pessoal, 2005) responsável pelo licenciamento das áreas de disposição no Paraná, o aterro municipal de Jacarezinho possui, licença ambiental de operação. A licença foi emitida embora nunca tenha havido Estudo de Impacto Ambiental, na ocasião da implantação não havia legislação que o exigisse, ou qualquer Plano de Controle Ambiental para o empreendimento. Segundo o próprio IAP, o aterro foi autuado em dezembro de 2004 por não estar operando de maneira adequada.

O aterro municipal de disposição de resíduos sólidos urbanos de Jacarezinho entrou em operação em 2001 e o estágio atual de operação representa uma readequação da antiga área de lixão da cidade. Este município foi um dos beneficiados por um programa do Governo Estadual, no qual 75% do valor referente aos custos de implantação do aterro sanitário e da usina de reciclagem foram providos pelo Estado, enquanto o Município, em contra partida, arcou com os 25% restantes, além de disponibilizar a área para as instalações.

A área escolhida para implantação do aterro situa-se a 4km do centro urbano, encontrando-se na zona rural do município. É um terreno de topografia ondulada e abrigava o antigo lixão de Jacarezinho, como pode ser observado na Figura 3.10. As coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) do aterro municipal podem ser expressas por 610,078 km E, 7.441,205 km N e 499 m de altitude. O projeto do aterro sanitário é mostrado no Anexo 1 e contempla os dispositivos previstos pela norma, ou

seja, área de disposição de RSU, sistema de tratamento de efluentes, sistema de infiltração de efluente tratado, antigo lixão, barracão de recicláveis, balança, poços de monitoramento, poço de captação subterrânea de água e moradia do vigia do aterro. Embora o projeto previsse dois poços de monitoramento e este número, segundo a NBR 8419/92, é insuficiente para caracterizar as condições hidrogeológicas locais e, por conseguinte, a contaminação do lençol freático, constatou-se que estes não foram construídos.

FIGURA 3.10 – CROQUI PLANIALTIMÉTRICO DE LOCALIZAÇÃO DO ATERRO



FONTE: MINEROPAR (2003)

No início de outubro de 1998 foram realizadas sondagens investigativas, pela empresa Solotécnica Engenharia de Obras Ltda, cujos boletins encontram-se no Anexo II deste trabalho, a fim de fornecer subsídios para a construção do atual aterro de Jacarezinho. Na ocasião foram realizados também testes de absorção, através da abertura de poços em forma de paralelepípedo de 30 cm de lado. Os resultados destes testes de absorção revelaram coeficiente de infiltração de 88 e 90 L/m²/dia.

O sistema de tratamento de chorume é composto por duas lagoas. A primeira lagoa atua como anaeróbia e a segunda como lagoa facultativa. O monitoramento físico-químico dos afluentes e efluentes destas lagoas e a remoção do lodo de fundo nunca foram executados e há suspeita, por parte do vigilante do aterro, que a geomembrana que impermeabiliza a primeira lagoa possa estar com vazamentos. As lagoas podem ser observadas na Figura 3.11.

FIGURA 3.11 – LAGOAS DE TRATAMENTO DE CHORUME



3.4 ESTUDO DE CASO II – ATERRO MUNICIPAL DE BARRA DO JACARÉ

3.4.1 Descrição Geral

O município de Barra do Jacaré, de acordo com o último Censo (IBGE, 2004), apresentava uma população total de 2.723 habitantes, na ocasião da aplicação do questionário, entretanto, a população estimada para 1º de julho de 2004 é de 2.503 habitantes. Tomando como base os dados não projetados, a distribuição da população é de, aproximadamente, 62% na área urbana e, o restante, na área rural. O município apresenta uma taxa de crescimento populacional anual total de -2,09 %, e a área ocupada é de 116 km². Em termos de infra-estrutura, a distribuição de água no município é realizada pela iniciativa privada, atendendo 544 domicílios, e a coleta de lixo é realizada pela Prefeitura, atendendo 502 domicílios.

3.4.2 Área de Influência

A delimitação da área de influência de um aterro sanitário é, por vezes, complexa. Basicamente, existem dois tipos de área de influência: a direta e a indireta. A gestão dos serviços e programas e a abrangência da coleta dos resíduos são fatores que interferem na análise para a delimitação da área de influência.

A área de influência direta é determinada por condicionantes topográficas, geológicas, hídricas e antrópicas específicas de cada objeto de estudo. Pode-se considerar como área de influência direta do aterro municipal de Barra do Jacaré os limites da propriedade em que este se encontra, toda a elevação topográfica na qual este se insere e as áreas compreendidas em seu entorno, perfazendo um raio de 500 m. A delimitação de uma área de influência direta maior do que a estipulada para o aterro de Jacarezinho está relacionada à existência de captação de água subterrânea próxima ao aterro. Esta marcação delimita quais meios, sejam antrópicos ou ambientais, estariam sujeitos aos impactos diretos do aterro, como odores, ruídos, percolação de lixiviados, etc.

A delimitação da área de influência indireta leva em conta não só os fatores específicos da área como a interação das atividades de coleta, transporte e disposição dos resíduos. Portanto, a área de influência indireta constitui-se no próprio município de Barra do Jacaré, por este estar sujeito aos impactos correlatos ao aterro, como por exemplo, impactos da destinação dos resíduos, impactos sociais decorrentes de tal atividade, do transporte de resíduos, do uso da bacia em que o aterro se encontra como manancial, entre outros.

3.4.3 Economia

Barra do Jacaré é um município que fundamenta suas atividades, basicamente, no terceiro setor (62% do PIB). Seus principais produtos são o trigo, a soja e o milho. As indústrias predominantes são as de produtos alimentares, de madeira e de minerais não metálicos.

3.4.4 Política e Gestão dos Resíduos Municipais

Conforme informações da Prefeitura Municipal, Barra do Jacaré possui serviços de coleta pública de lixo com frequência diária. Através de um programa de conscientização da população e de educação ambiental foi implementado o programa de separação do material reciclável, sendo a coleta semanal. Com a implantação deste programa, cerca de 300kg de material reciclável são coletados toda semana e este é encaminhado a recicladoras da região. O transporte dos resíduos sólidos urbanos até o aterro é realizado por um trator cuja caçamba acoplada é específica para tal função, como mostrado na Figura 3.12.

FIGURA 3.12 – TRATOR TRANSPORTADOR DE RSU



FIGURA 3.13 – CAMINHÃO COMPARTIMENTADO UTILIZADO NA COLETA SELETIVA



Os resíduos recicláveis são separados nos domicílios pela própria população do município e transportados em caminhão compartimentado para recicladoras. Há também o serviço de separação de materiais recicláveis, como por exemplo caixas de papelão, latas metálicas e outros, no próprio aterro tendo o mesmo nobre destino. O

caminhão compartimentado de coleta foi mostrado na Figura 3.13. Os resíduos de poda de árvores são encaminhados para o aterro municipal. Os resíduos de saúde são acondicionados em sacos plásticos nos postos de saúde e, posteriormente, dispostos em valas específicas para este fim no aterro municipal.

3.4.5 O Aterro Municipal de Barra do Jacaré

O aterro municipal de Barra do Jacaré fez parte do Programa de Ação Social em Aterro Sanitário do Programa Nacional Avança Brasil e foi construído através de um financiamento da Caixa Econômica Federal no ano de 2000. Na época, o município submeteu ao Instituto Ambiental do Paraná três áreas disponíveis para que este optasse pela área ambientalmente mais apropriada à implantação do aterro.

A área escolhida, de topografia é ondulada, está situada no topo de um morro próximo à zona urbana de Barra do Jacaré. O aterro foi projetado para conter 170 valas de disposição de resíduos sólidos urbanos e 10 valas de disposição de resíduos hospitalares. As coordenadas UTM do aterro municipal são 583,456 km E, 7.444,065 km N, 510 m de altitude.

O projeto do aterro contempla a execução de barreira vegetal ao redor da área, além de bacia de retenção para águas pluviais. Foram também previstos canais de drenagem, primários e secundários, e um único poço de monitoramento a jusante da vertente em que o aterro se situa. Durante a perfuração do poço de monitoramento foi constatado que a camada de solo naquele ponto era de apenas 2,50 m (FURLAN JR., contato pessoal, 2004). Um croqui ilustrativo do projeto é mostrado na Figura 3.14.

O município de Barra do Jacaré apresenta uma taxa média diária de produção de resíduos sólidos de 800 kg, para uma população urbana de 1.693 habitantes, o que representa um equivalente populacional de 0,47 kg / hab.dia. A administração dos serviços é de responsabilidade da Prefeitura Municipal, que dispõe de um trator coletor mostrado na Figura 3.14, além de um caminhão-baú. Neste município a coleta é efetuada de segunda a sexta-feira. Os resíduos são dispostos em valas abertas por retroescavadeira, como apresentado na Figura 3.15.

FIGURA 3.15 – VALAS PARA DISPOSIÇÃO DOS RSU EM BARRA DO JACARÉ



De acordo com a avaliação realizada por RAMOS (2004) a área de disposição de Barra do Jacaré é qualificada como vala e apresenta IQR/VALAS (Índice de Qualidade de Valas de disposição de RSU) igual a 8,9. Este valor indica que o conjunto de valas opera em condições adequadas, podendo ser considerado como bom haja vista que foi o que apresentou melhor índice dentre todos os municípios analisados naquele estudo, nos quais a disposição de resíduos acontece em valas. Segundo o mesmo autor, tal desempenho pode ser atribuído a iniciativas pontuais, por vezes de caráter pessoal. Salienta-se que, segundo a avaliação do IAP, a área de disposição de Barra do Jacaré apresenta-se como aterro controlado.

Em contato com a SANEPAR solicitaram-se análises químicas das águas extraídas do poço subterrâneo para identificação de metais pesados e outros parâmetros de interesse, sendo o aterro o mais provável agente poluidor neste caso. Os resultados fornecidos pela SANEPAR e sua discussão estão no capítulo 4 deste trabalho.

A área das valas destinadas à disposição dos resíduos de saúde é isolada com cerca arame farpado para evitar a entrada de estranhos que possam vir a ter qualquer

contato com o material séptico. A chave para acesso a esta área está sob a responsabilidade de um funcionário da prefeitura, que é o responsável pela autorização da disposição dos resíduos de saúde de hospitais, clínicas, postos de saúde, clínicas odontológicas, clínicas veterinárias, bancos de sangue. As Figuras 3.16 e 3.17 mostram as valas para a disposição dos resíduos sépticos.

FIGURA 3.16 - VALA DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÉPTICOS EM MAIO DE 2004



FIGURA 3.17 - VALA DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÉPTICOS EM MARÇO DE 2005



Os materiais recicláveis que não foram separados pela população recebem uma triagem adicional no próprio aterro, como pode ser observado na Figura 3.18. Este material é posteriormente encaminhado às recicladoras regionais.

FIGURA 3.18 – PILHA DE RECICLÁVEIS TRIADOS NO ATERRO



3.5 PARÂMETROS DE INTERESSE

Os requisitos para a proteção do meio ambiente, segundo OLIVEIRA (1998), são: a identificação e caracterização dos condicionantes geológicos, hidrogeológicos e geomorfológicos; a escolha do local de disposição e execução das investigações geológicas e hidrogeológicas; a definição e acompanhamento do monitoramento pré-operacional; a definição dos dispositivos de contenção e de coleta dos percolados e das plumas de contaminação; a definição dos tratamentos prévios dos resíduos, dos métodos e do projeto de disposição e a implementação e acompanhamento do monitoramento operacional e pós-operacional.

TABELA 3.3 – INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

CONTAMINANTES	PRINCIPAIS INDICADORES
Partículas Sólidas	Sólidos em suspensão(SS), sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais (ST), turbidez e cor
Orgânicos	Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅), demanda química de oxigênio (DQO), SS, STD, cor, turbidez, pH
Orgânicos Sintéticos	Carbono Orgânico Total (TOC), halogenados orgânicos totais (TOX), benzeno, tolueno, xileno, tricloroetileno (TCE), tetracloroetileno (TECE), tricloroetano (TCA), percloroetileno (PCE), bifenila policlorada (PCB), trihalometanos, aldrin, DDT, fenóis, etc.
Inorgânicos	Dureza CaCO ₃ , pH, SS, STD, ST, condutividade elétrica, turbidez, cor, cloretos, sulfatos, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio, fosfato, fluoreto, cianeto.
Metais	Hg, Cd, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Fe, Mn, etc.
Radionuclídeos	Radiações tipo alfa, beta e gama
Biológicos	Coliformes fecais e totais, contagem de bactérias e de vírus

Os ensaios de caracterização física dos solos foram realizados no Laboratório de Solos (LAME) do LACTEC, no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Os ensaios foram realizados segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT conforme apresentado na Tabela 3.4:

TABELA 3.4 – NORMAS TÉCNICAS RELATIVAS AOS ENSAIOS DE SOLOS

ENSAIO	NORMA TÉCNICA RELACIONADA
Análise Granulométrica	NBR 7181 / 1984
Limite de Liquidez	NBR 6459 / 1984
Limite de Plasticidade	NBR 7180 / 1984
Massa Específica Real dos Grãos Menores que 4,8 mm	NBR 6508 / 1984
Teor de Umidade	NBR 6457 / 1986

Os ensaios de caracterização físico-química do chorume e dos efluentes do aterro de Jacarezinho foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental Professor Francisco Borsari Netto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR e foram analisados os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico, Nitrogênio Kjeldhal Total, Sulfetos, Sulfatos, Carbônico Orgânico Total. Os metais pesados foram analisados no Laboratório de Análises Químicas do LACTEC. Todas as análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998)

Os ensaios de quantificação de metais pesados em amostras de solo, chorumes bruto e tratado foram realizados no laboratório de química do LACTEC. Os metais pesados analisados por absorção atômica foram: Ferro, Cádmio, Alumínio, Chumbo, Mercúrio, Cobre, Cromo e Zinco.

A amostra de água subterrânea coletada durante a segunda campanha foi submetida a ensaios laboratoriais para detecção da contaminação por metais pesados através de absorção atômica. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Análises Químicas do LACTEC. Foram investigados os seguintes metais pesados: Alumínio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, e Zinco. O procedimento de análise é descrito em AOAC (2000)

Parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura e localização foram medidos *in loco*, com os aparelhos descritos na Tabela 3.5, cedidos pelo Laboratório Borsari Netto e pela Nagalli & Cia Ltda.

TABELA 3.5 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÕES DE CAMPO

PARÂMETRO	EQUIPAMENTO	MARCA / MODELO
pH	pHmetro	WTW - Wissenschaftlich-Technische Werkstätten
Condutividade	Condutivímetro	Handylab LF1 da Schott-Gerate
Oxigênio Dissolvido	Oxímetro	Handylab OX1/SET da Schott-Gerate
Localização	GPS	Garmin GPS 12 canais

O ensaio para medição do carbono orgânico total (TOC) foi realizado em um equipamento da marca Shimadzu, modelo TOC-V_{CPH}. A amostra foi filtrada em papel de fibra de vidro (0,45 mm) e foi utilizado um fator de diluição de 10 vezes, para todas as amostras. Os resultados, com o respectivo desvio padrão (SD) estão apresentados no Capítulo 4.

3.6 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

Os métodos de prospecção do subsolo para fins geotécnicos classificam-se em indiretos, semidiretos e diretos. Os métodos indiretos são aqueles em que a determinação das propriedades das camadas do subsolo é feita indiretamente pela medida da resistividade elétrica ou da velocidade de propagação de ondas elásticas, incluindo métodos geofísicos. Os semidiretos são realizados por correlações indiretas. Os métodos diretos consistem em qualquer conjunto de operações destinadas a observar diretamente o solo ou obter amostras ao longo de uma perfuração (LIMA, 1983).

Os ensaios de permeabilidade em solos são correntemente realizados em Geologia de Engenharia com a finalidade de se determinar os coeficientes de permeabilidade dos terrenos objeto de estudos para implantação ou consolidação de obras civis (ABGE,1996).

Os principais métodos diretos são os manuais (poços, trincheiras, trados manuais) ou mecânicos (sondagens em geral). O processo que utiliza trados manuais, mostrado na Figura 3.19, apresenta como vantagem a simplicidade, a rapidez e a economia nas investigações. Os problemas mais graves de construção estão relacionados à presença da água (LIMA, 1983).

FIGURA 3.19 – EXECUÇÃO DE POÇO NO ATERRO DE JACAREZINHO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE



Em solos com grande variação de permeabilidade, a percolação pode concentrar-se em zonas de falha ou de lentes de material poroso, produzindo gradientes locais muito elevados e instabilidade. Os meios rochosos ou terrosos, em sua quase totalidade, são assinalados por descontinuidades em seu interior, com forma, dimensões e frequência de ocorrência muito variáveis. Tais descontinuidades recebem a denominação genérica de vazios ou poros, embora o último termo seja mais empregado para designar vazios de forma aproximadamente esférica (FRANCISS, 1980).

Os vazios dos meios rochosos ou terrosos costumam estar preenchidos por água e ar. A água constitui a fase líquida, o ar, a fase gasosa e seus agregados de minerais, a fase sólida. A coexistência dessas três fases determina o caráter trifásico do sistema resultante. O sistema trifásico, constituído pelo meio rochoso ou terroso, com água e ar em seus vazios, não permanece imutável. Variações, no espaço e/ou no tempo do estado de tensões atuantes no sistema modificam seu estado físico. Tais variações induzem modificações no agenciamento da fase sólida e no estado de movimento da fase líquida. Quando em movimento, a fase líquida pode carrear,

temporariamente, algum material sólido, pertencente ou estranho ao meio poroso (FRANCISS, 1980).

Quando permitem o transporte de água em seu interior, os meios rochosos ou terrosos recebem a adjetivação de permeáveis. O escoamento da água através dos vazios dos meios rochosos ou terrosos permeáveis recebe a designação genérica de percolação. Diferentes modalidades de vazios determinam diferentes tipos de porosidade: vacuolar, intersticial, de fraturas e de canais. Eventualmente, mais de um tipo de porosidade coexiste em um único meio (FRANCISS, 1980).

Embora os ensaios de permeabilidade em solos estejam, na prática, intimamente associados ao método de prospecção empregado, do ponto de vista hidrogeológico, tais ensaios podem ser classificados conforme a maneira de realização (ensaios a nível constante e a nível variável) e o diferencial de pressão aplicado ao aquífero (ABGE,1996). Os ensaios a nível constante são realizados através da manutenção do nível d'água, num furo de sondagem, poço ou trincheira, numa posição constante ao longo de toda duração do ensaio.

FIGURA 3.20 – MATERIAIS UTILIZADOS PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE DE JACAREZINHO



Segundo HAZEN (citado por ABGE,1996), a permeabilidade (K), pode ser estimada com base no diâmetro efetivo d_{10} . Esta aproximação pode ser utilizada como ordem de grandeza, uma vez que, esta formula foi determinada para grãos de areia, empiricamente. O parâmetro d_{10} que aparece na fórmula corresponde ao diâmetro tal que o peso de todos os grãos menores constitua 10% do peso total da amostra.

$$K = 100 \times d_{10}^2 \quad (\text{Equação 3.1})$$

No Brasil, existem basicamente duas referências adotadas para realização de ensaios de permeabilidade. A primeira é a metodologia apresentada na NBR 7229/93 – Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição de Efluentes Finais, que adota valas de 30 x 30 cm para realização do ensaio de infiltração. A segunda, apresentada em ABGE (1996), relata que na preparação do trecho a ser ensaiado devem ser tomados alguns cuidados como a utilização de água sem material em suspensão visível a olho nu e ao se atingir a cota do ensaio, deve-se levantar um pouco a composição de perfuração e manter a circulação d'água até que se observe a água de retorno sem detritos. O procedimento para realização do Ensaio de Permeabilidade pelo Método de infiltração é o seguinte:

- Enche-se o furo de água até a boca, tomando-se este instante como zero;
- O nível d'água deve ser mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada, medindo-se o volume de água introduzido durante um certo intervalo de tempo (vazão).
- Elaboração do gráfico: abscissa (tempo) x ordenada (volume acumulado ou vazão)
- Observação , no gráfico, da estabilização da vazão, que é caracterizada por uma reta. Essa vazão (Q) será utilizada no cálculo da permeabilidade (vazão constante).
- Tempo médio do ensaio 20 minutos.
- A permeabilidade do solo pode ser calculada por $K = (Q/h) \cdot (1/(C_u \cdot r))$, onde Q corresponde à vazão obtida do gráfico, h corresponde à profundidade do

furo, C_u sai do ábaco desenvolvido por ZANGAR (1953), que consta em ABGE (1996) e r é o raio do furo.

- A profundidade do lençol freático deve ser superior a 3 vezes o comprimento do furo (h).

Segundo os mesmos autores, este mesmo ensaio pode ser realizado pelo Método do Rebaixamento. O procedimento para realização do Ensaio de Permeabilidade pelo Método do Rebaixamento é o seguinte:

- Enche-se o furo até a boca, tomando-se este instante como tempo zero.
- Em ensaios realizados acima do nível d'água do terreno, o nível d' água deve ser mantido na boca, estável por cerca de 10 minutos para “saturação”;
- Interrompe-se o fornecimento d'água, tomando-se este instante como zero, e a intervalos curtos no início e mais longos em seguida, por exemplo, 15s, 30s, 1 min, 2 min, 3 min,... acompanha-se o rebaixamento do nível d'água no furo.
- Recomenda-se que o ensaio seja dado por concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou 30 minutos.
- A permeabilidade do solo pode ser calculada por $K = ((\Delta h)/(\Delta t)) \cdot d_1^2/(8 \cdot h_0 \cdot (d \cdot L)^{1/2})$, onde Δh corresponde à variação do nível d'água, Δt a variação do tempo, d_1 o diâmetro do furo e h_0 à profundidade molhada do furo.
- Ensaio válido para comprimento de furo entre 1 e 3 m.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 ESTUDO DE CASO I – JACAREZINHO

4.1.1 Discussão de Resultados

Os resultados obtidos para o Estudo de Caso do Aterro Municipal de Jacarezinho compreendem a caracterização físico-química dos efluentes líquidos e do solo, além dos ensaios de permeabilidade, do balanço hídrico local e a modelagem do comportamento de contaminante na área de infiltração.

O efluente da estação de tratamento do aterro de Jacarezinho foi coletado em três pontos diferentes visando avaliação da eficiência do tratamento. A nomenclatura utilizada na identificação dos pontos de coleta é a seguinte: CHO indica o chorume bruto coletado na canaleta de alimentação do sistema de tratamento, PRI indica o efluente coletado na primeira lagoa de tratamento referente ao tratamento primário, SEC indica o efluente da saída da lagoa de tratamento secundário.

As três campanhas de campo para coleta de amostras aconteceram em situações opostas: a primeira durante um longo período de chuva, a segunda e terceira durante períodos de forte estiagem. Os ensaios químicos laboratoriais de caracterização do chorume e dos efluentes do sistema de tratamento foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental Prof. Francisco Borsari Neto do Departamento de Hidráulica e Saneamento, enquanto as análises químicas de metais pesados foram realizadas no laboratório de análises químicas do LACTEC.

Os resultados obtidos apresentaram variações significativas em função de variáveis temporais, como a precipitação pluvial, grau de oxigenação do sistema de tratamento de efluentes, idade dos resíduos, umidade dos resíduos, exposição solar, etc. Os resultados foram confrontados com a Resolução do CONAMA nº 357 / 2005 (BRASIL, 2003). Observa-se um chorume medianamente concentrado, se comparado ao de outros aterros, como apresentado na Tabela 4.1, indicando pelos parâmetros pH, DBO₅ e DQO que o chorume origina-se de porções do aterro sujeitas a distintas fases e

processos de degradação. Seu alto potencial poluidor, caracterizado principalmente pelos parâmetros DBO, DQO e metais pesados do chorume, requer cuidados adicionais na operação do sistema de tratamento.

A presença do oxigênio dissolvido é essencial para a sobrevivência dos seres aquáticos aeróbios. O OD é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição por despejos orgânicos (JUCÁ *et al.*, 2002). Baixos teores de oxigênio dissolvido no líquido indicam que receberam matéria orgânica. Ao se observar a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) nas amostras constata-se o consumo de oxigênio para realização de reações químicas e biológicas. Os níveis de OD existentes no chorume variaram de 0,1 a 0,2 mg/L, enquanto nas amostras da lagoa anaeróbia (PRI) foram de 0,2 a 7,7 mg/L e nas amostras da lagoa facultativa (SEC) de 7,4 a 9,5 mg/L.

O quociente entre DBO_5/DQO pode ilustrar a biodegradabilidade do chorume e a idade do aterro. Relações entre DBO_5/DQO da ordem de 0,5 indicam um aterro jovem e um chorume biodegradável. Esta mesma relação se for da ordem de 0,1 indica um percolato pouco biodegradável e um aterro estabilizado (LINS, 2003). As amostras de chorume coletados em Jacarezinho, mostrados nas Tabelas 4.1 e 4.2, apresentam relação DBO_5/DQO da ordem 0,4 para a primeira campanha e de 0,6 na segunda campanha. Portanto, os resultados confirmam que se trata de um chorume oriundo de um aterro jovem, e com alta biodegradabilidade.

Os sólidos causam problemas estéticos, abrigam os microrganismos patogênicos, propiciando condições ao seu desenvolvimento, afetam o pH, são responsáveis pela adsorção de contaminantes, aumentam os depósitos de lodo entre outros (JUCÁ *et al.*, 2002). Nas amostras de Jacarezinho, observou-se uma grande variação no teor de sólidos, de 35 a 17.698 mg/L, decorrentes das variações nas precipitações pluviais e da composição dos resíduos dispostos. Os sólidos voláteis, que variaram de 14 a 6.317 mg/L representam uma estimativa da matéria orgânica, enquanto os sólidos não voláteis (fixos), que variaram de 21 a 11.381 mg/L, representam a matéria inorgânica ou mineral.

A remoção de metais pesados, pelo sistema de tratamento de chorume, pode ser considerada boa, porém insatisfatória. Esta melhoria de qualidade pode ser exemplificada pelo parâmetro alumínio que apresentou redução de 7,0 mg/L no chorume para 0,1 mg/L no efluente da lagoa secundária. Os parâmetros chumbo, cobre, cromo e zinco também apresentaram redução expressiva de quantidade, indicando qualidade no tratamento. Embora o efluente da segunda lagoa de tratamento esteja saindo com parâmetros relativamente baixos, os metais pesados presentes no chorume estão, provavelmente, concentrados no lodo da primeira lagoa. A disposição deste lodo é preocupante, embora possa ser utilizada a própria frente de disposição de resíduos para este fim e recirculação do material.

TABELA 4.1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO EFLUENTE NAS TRÊS CAMPANHAS

PARÂMETRO	CONAMA 357/05	1ª CAMPANHA (alta pluviosidade)			2ª CAMPANHA (estiagem)			3ª CAMPANHA (estiagem)		
		CHO	PRI	SEC	CHO	PRI	SEC	CHO	PRI	SEC
pH	5 a 9	6,45	8,30	9,70	6,76	8,83	9,62	7,46	8,31	8,82
Cond. Elét.(mS/cm)	-	9,47	6,64	1,77	0,93	0,55	0,14	13,50	6,02	0,14
Temperatura (°C)	< 40	20,1	20,1	20,4	24,4	24,6	24,3	33,0	33,4	33,7
OD (mg/L)	-	0,1	0,2	9,5	0,2	3,1	7,4	0,2	7,7	9,4
DBO ₅ (mg/L)	50	1014	126	68,4	931	296	48	-	-	-
DQO (mg/L)	125	2287	408	275	1601	618	99	1000	200	175
NO ₂ (mg/L)	-	10,13	25,33	21,68	0,01	0,01	0,02	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO ₃ (mg/L)	-	6,70	2,56	1,54	3,85	2,35	1,13	< 0,5	< 0,5	< 0,5
P (mg/L)	-	17,5	45,5	37,9	3,78	1,86	0,04	4,0	0,46	0,24
ST (mg/L)	-	4568	52	35	1351	48	39	17698	2035	879
STV (mg/L)	-	1302	17	14	391	20	17	6317	568	271
STF (mg/L)	-	3266	35	21	960	28	22	11381	1467	608
SS (mL/L)	< 1,0	20	< 0,1	< 0,1	20,0	< 0,1	< 0,1	20,0	< 0,1	< 0,1
SST (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	23490	58	36
SSF (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	15170	12	8
SSV (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	8320	46	28
N Kjeldhal. (mg/L)	-	-	-	-	263	23,8	5,5	546,0	16,8	4,98
N Am. (mg/L)	< 20,0	-	-	-	219	21,2	4,7	512,4	12,32	1,62
N Org. (mg/L)	-	-	-	-	44	2,6	0,8	33,6	4,48	3,36
COT (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	0,791	6,341	4,177
Alumínio (mg/L)	< 0,1	-	-	-	7,0	0,2	0,1	-	-	-
Cádmio (mg/L)	< 0,2	-	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	-	-	-
Chumbo (mg/L)	< 0,5	-	-	-	0,4	0,4	0,2	-	-	-
Cobre (mg/L)	-	-	-	-	0,65	<0,03	<0,03	-	-	-
Cromo (mg/L)	< 0,5	-	-	-	0,65	<0,05	<0,05	-	-	-
Mercúrio (mg/L)	< 0,01	-	-	-	n.d.	n.d.	n.d.	-	-	-
Zinco (mg/L)	-	-	-	-	2,80	0,05	0,05	-	-	-

TABELA 4.2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL

PONTO	COT	SD
Chorume (CHO)	0,791	0,625
Lagoa Primária (PRI)	6,341	0,305
Lagoa Secundária (SEC)	4,177	0,250
Branco	0,227	0,124

Após a análise dos resultados obtidos em laboratório, chega-se a conclusão de que o sistema de tratamento realiza a remoção de grande parte dos contaminantes do chorume, por meio de processos de degradação nas lagoas. Embora haja tratamento, estes não acontecem em níveis satisfatórios, pois não atendem aos padrões legais (CONAMA n °357/05) de emissão de efluente. A título de exemplo, pode-se citar o parâmetro DQO. Este apresentou níveis superiores aos 125 mg/L permissíveis pela legislação, com variações de 99 a 275mg/L. Não havendo controle do processo e dos efluentes não se pode garantir o atendimento dos padrões de emissões legais.

A Tabela 4.3 e as Figuras 4.1 e 4.2 comprovam a característica argilosa do solo encontrado em Jacarezinho. Trata-se de uma argila siltosa plástica. As argilas são lamelares e possuem alta superfície específica, característica que lhes confere uma alta capacidade de sorção de contaminantes. Os resultados podem ser comprovados pelos boletins das sondagens, no Anexo 2, que foram realizadas na ocasião da implantação do aterro.

TABELA 4.3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

PARÂMETRO	VALOR
Teor de umidade (%)	12,78
Limite de Liquidez (%)	28
Limite de Plasticidade (%)	14
Massa Específica (g/cm ³)	2,733

FIGURA 4.1 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO ABNT

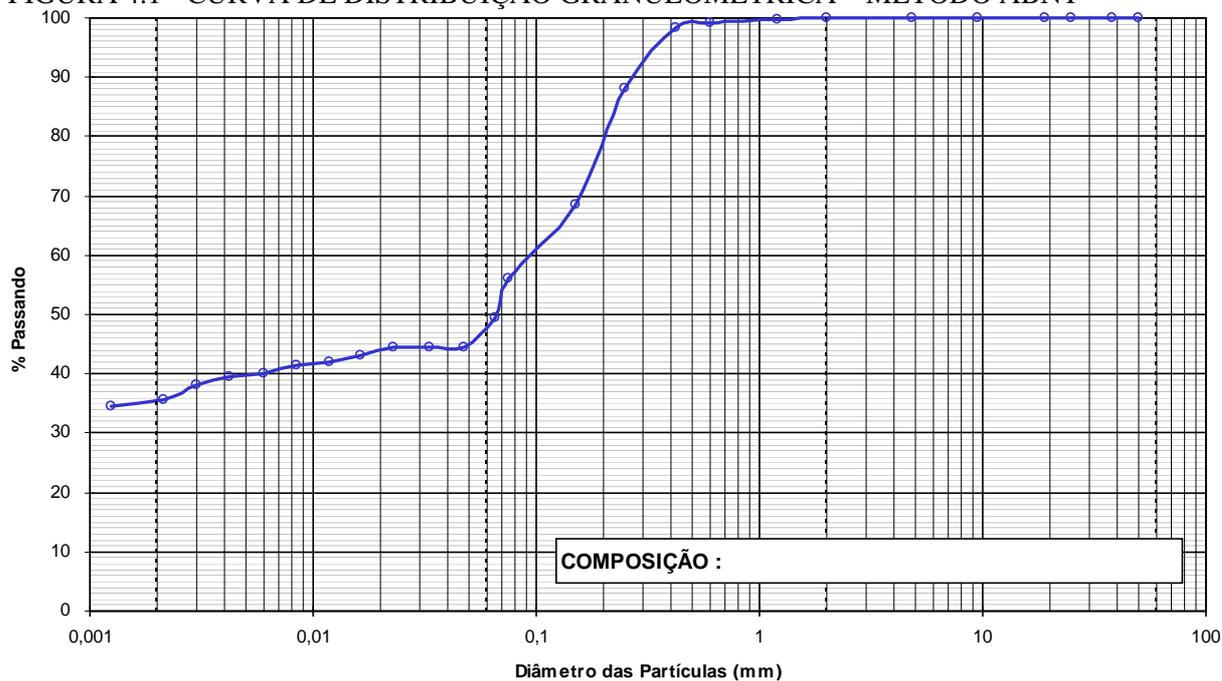
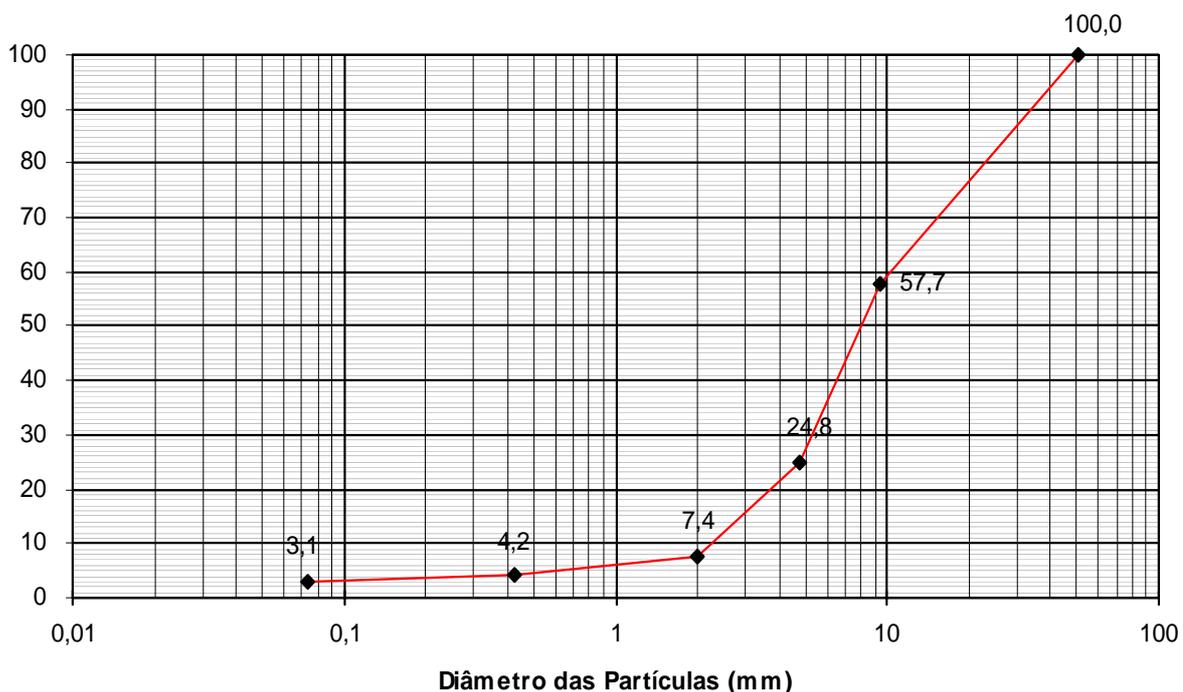


FIGURA 4.2 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DNER



Os ensaios que determinaram o coeficiente de permeabilidade do solo local foram realizados segundo as orientações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1996). Com o intuito de aproveitar furos executados para os ensaios de permeabilidade, as amostras de solo para análise de metais pesados foram coletadas no mesmo ponto, ao longo do perfil do solo, utilizando-se amostragem

composta. Os furos executados próximos ao aterro serviram para a caracterização do solo mostrada anteriormente, enquanto os furos executados em meio à área de infiltração de efluentes no solo serviram para elaboração do perfil de transporte no solo dos metais pesados. A localização dos furos está representada na Figura 4.3 . As profundidades de coleta e os resultados obtidos na análise laboratorial podem ser observados na Tabela 4.4.

FIGURA 4.3 – CROQUI DA ÁREA DE INFILTRAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

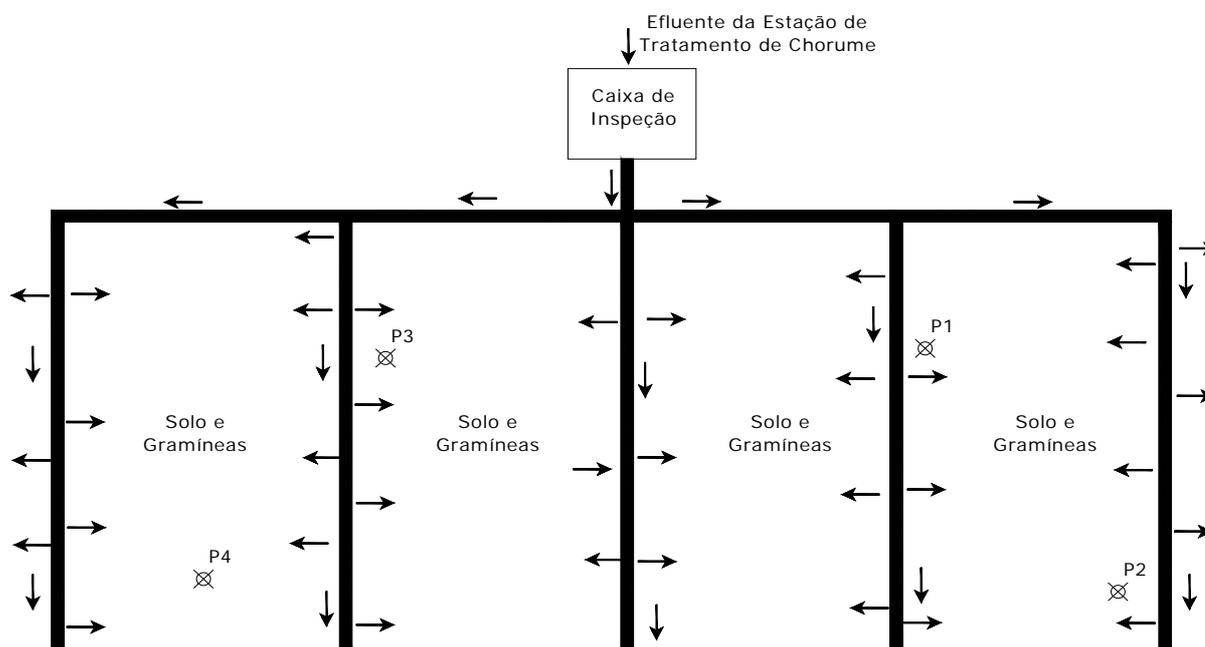


TABELA 4.4 – RESULTADOS LABORATORIAIS DOS METAIS PESADOS NA ÁREA DE INFILTRAÇÃO DE EFLUENTES NO SOLO

PARÂMETRO	Cd (mg/L)	Al (mg/L)	Pb (mg/L)	Hg (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Zn (mg/L)
P1 - Solo área infiltração (10-20cm)	ND	4350	< 2,00	<0,1	6,00	12,00	12,00
P1 - Solo área infiltração (20-40cm)	ND	6200	8,00	<0,1	5,00	10,00	15,00
P1 - Solo área infiltração (40-70cm)	ND	6250	3,00	<0,1	6,00	15,00	15,00
P1 - Solo área infiltração (70-80cm)	ND	5700	< 2,00	< 0,1	6,00	10,00	12,00
P1 - Solo área infiltração (80-100cm)	ND	7900	3,00	<0,1	4,00	15,00	12,00
P1 - Solo área infiltração (100 - 110cm)	ND	7500	< 2,00	<0,1	3,00	10,00	10,00
P2 - Solo área infiltração (0 - 5cm)	ND	7200	4,00	<0,1	8,00	15,00	10,00
P2 - Solo área infiltração (5 - 30cm)	ND	5700	< 2,00	<0,1	6,00	10,00	10,00
P2 - Solo área infiltração (30 - 60cm)	ND	5800	5,00	<0,1	10,00	10,00	10,00
P2 - Solo área infiltração (60 - 100cm)	ND	7300	5,00	<0,1	10,00	10,00	10,00
P3 - Solo área infiltração - Superfície	ND	8400	8,00	<0,1	10,00	15,00	15,00
P4 - Solo área infiltração - Superfície	ND	7500	10,00	<0,1	10,00	12,00	15,00

Os dados expostos na Tabela 4.4 foram representados espacialmente nas Figuras 4.4 e 4.5. O perfil dos metais pesados nos pontos P1 e P2 indicam teores naturalmente ausentes dos metais mercúrio (Hg) e cádmio (Cd) e concentrações mais elevadas nas porções mais superficiais de solo para o metal cromo no ponto P2. Para os outros metais pesados observa-se um caráter oscilatório, provocado pela diferença de mobilidade entre os metais pesados neste tipo de solo. A pluma do contaminante chumbo para o ponto P1, por exemplo, situa-se em concentrações elevadas na profundidade 30 cm, a pluma do zinco na profundidade média de 40 cm, e o alumínio aumenta sua concentração a medida que a profundidade aumenta.

FIGURA 4.4 – PERFIL DOS METAIS PESADOS NO PONTO P1

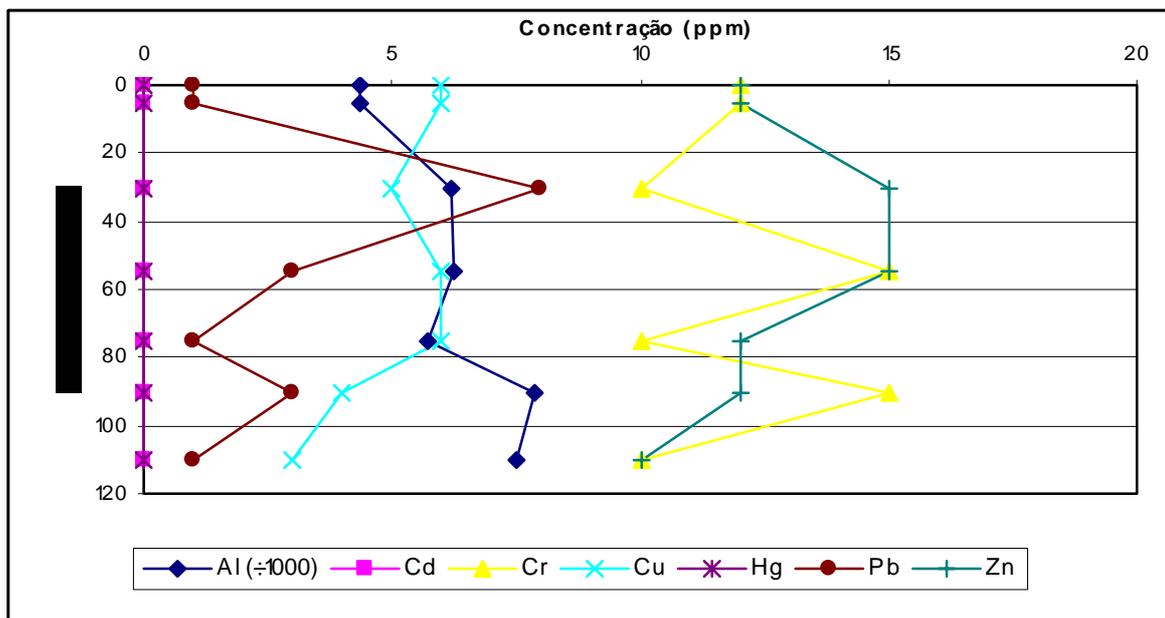
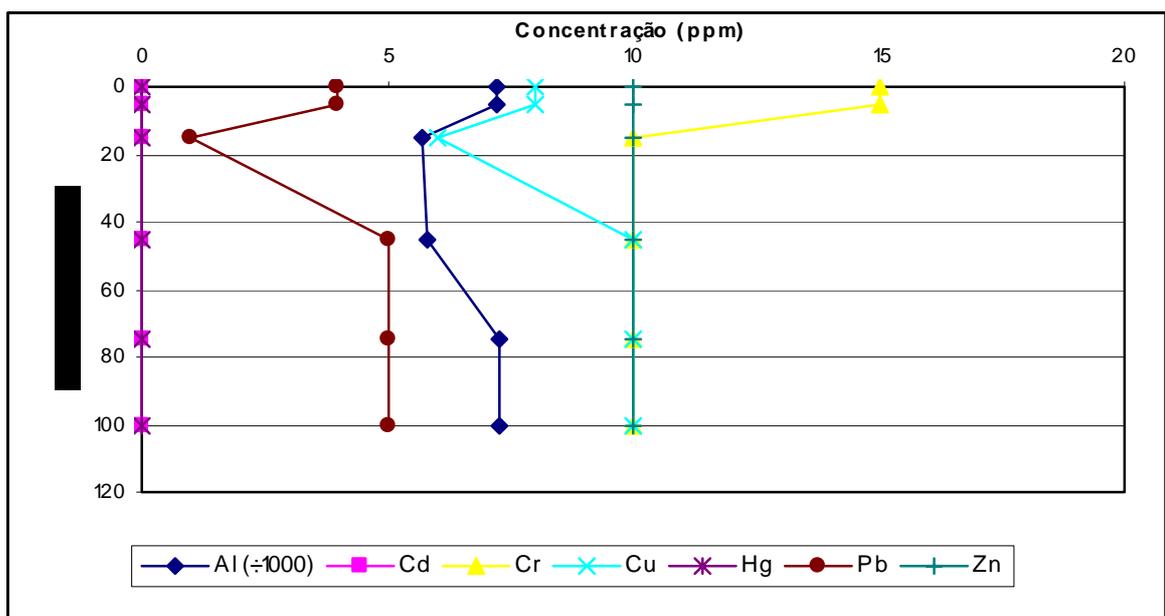


FIGURA 4.5 – PERFIL DOS METAIS PESADOS NO PONTO P2



A viscosidade do chorume é bastante próxima a da água, o que possibilita que sejam utilizados ensaios de permeabilidade com água e aplicados os resultados para avaliação do comportamento do chorume diluído nas lagoas de tratamento. Os ensaios de permeabilidade realizados no aterro municipal de Jacarezinho, no dia indicaram valores de coeficiente de permeabilidade da ordem de 10^{-6} m/s. Estes valores tiveram uma oscilação de $2,63 \times 10^{-6}$ m/s a $9,00 \times 10^{-7}$ m/s no ensaio pelo método de rebaixamento e atingiram valores próximos a $6,13 \times 10^{-6}$ m/s no ensaio pelo método de infiltração. A Figura 4.6 expõe uma das curvas de vazão utilizadas para o cálculo da permeabilidade pelo método da infiltração.

FIGURA 4.6 – CURVA DE ESTABILIZAÇÃO DE VAZÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DA INFILTRAÇÃO NO SOLO



Os resultados dos testes de absorção realizados pela Solotécnica Engenharia de Obras Ltda em outubro de 1998 revelaram coeficiente de infiltração de 88 e 90 L/m²/dia (PARANÁ, 1998). Estes resultados são equivalentes a 1×10^{-6} m/s, indicando um solo de retenção de contaminantes semelhante à encontrada neste estudo. Estes resultados indicam que o solo possui uma capacidade de retenção de contaminantes relativamente moderada, embora insuficiente para permitir que o percolado não atinja o aquífero adjacente.

A velocidade de percolação no solo varia com características de forma e com características geomorfológicas locais. A variável de forma é representada pelo gradiente hidráulico médio (i) que pode ser obtido pelos níveis d'água de poços. A título de exemplo, na ausência destes, uma boa aproximação é obtida pela topografia local. Se tomarmos uma declividade média de 8%, que corresponde à declividade aproximada do aterro de Jacarezinho, e considerando-se a permeabilidade de solo obtida in loco, $K = 6,13 \times 10^{-6}$ m/s, pode-se determinar a velocidade real de fluxo (v_r) utilizando-se a porosidade efetiva (m_e), pela expressão:

$$v_r = K \times i / m_e \quad \text{Equação 4.1}$$

Obtém-se uma velocidade real de fluxo $v_r = 5,448 \times 10^{-6}$ m/s. Supondo-se que o nível freático esteja a 5 metros de profundidade, com a velocidade calculada chegamos à conclusão de que o contaminante, para condições de não reatividade e carreamento com a água percolada, atingirá o solo em 10,62 dias. Esta análise permite avaliar que esta taxa de percolação é baixa, em virtude da pequena permeabilidade do solo. Considerando-se que em épocas de alta pluviosidade o lençol freático pode se encontrar a profundidades menores que 5 metros e que outras condicionantes geológicas podem estar presentes no local, como falhas, lentes de maior permeabilidade, etc. deve-se tomar bastante cuidado ao considerar os valores adotados como seguros.

Tão importante quanto saber a que tempo o contaminante atingirá o compartimento ambiental a ser protegido é saber qual o potencial de poluição que este apresenta. Os resultados das análises químicas do chorume foram confrontados com outros estudos como indica a Tabela 4.5. Esta comparação mostrou que os valores encontrados em laboratório estão dentro da faixa de variação de outros estudos e pesquisas. Através dos resultados pode-se constatar que o chorume tratado é uma composição de lixiviados, incluindo líquidos oriundos de decomposições mais antigas e mais recentes. Coexistem, portanto, as fases ácida e metanogênica, prevalecendo a primeira. Isto é comprovado, por exemplo, pela observação dos valores de DBO_5 e

DQO. A DQO de aterros jovens (fase ácida), de cerca de 1 ano de operação, como Taichung City, é de 3447 mg/L, ou seja, próxima aos 1000-2287 mg/L encontrados nas análises de Jacarezinho e bastante distante dos valores encontrados em Aguazinha e Caximba, da ordem de 15.000 mg/L.

Outra análise que pode ser feita, é com relação às características gerais da composição do chorume. Observa-se, por exemplo, que os sólidos presentes nas amostras influenciam diretamente na suas propriedades de condutividade elétrica e pH. Quanto maior a quantidade de sólidos, carregados pela água, durante o processo de lixiviação da massa de resíduos, maior a condutividade elétrica e o menor o pH da amostra. O pH tende a ser baixo pela formação de ácidos orgânicos e dióxido de carbono. Outro fator que influencia na diminuição do valor de pH e aumento da condutividade, da primeira para a terceira campanha, é a maior quantidade de chuvas, diminuindo o pH de 7,46 para 6,45 e aumentando a condutividade elétrica de 9,47 para 13,5 mS/cm. Conclusões semelhantes aconteceram nos estudos de PAES (2003), CINTRA (2002) e JUCÁ *et al.* (2002).

No que tange ao processo de digestão anaeróbia, os metais pesados em certas concentrações podem inibi-lo ou estimulá-lo. O conceito de toxicidade é visto como relativo, uma vez que depende de fatores que vão desde a concentração da substância, pH, temperatura, até a presença de outros compostos (POVINELLI, 1987, citado por PAES, 2003). Os altos valores de nitrogênio amoniacal, variando de 219 a 512 mg/L, não convertidos em nitrato e nitrito são característicos de um chorume com alta carga orgânica. Os valores baixos de nitrito, de 0,01 a 10,13 mg/L, indicam também um chorume não estabilizado, como no estudo de PAES (2003).

TABELA 4.5 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS COM OUTROS ESTUDOS

PARÂMETRO	CHO – JACAREZINHO (1)	CHO – JACAREZINHO (2)	CHO - JACAREZINHO (3)	LAMENHA PEQUENA (4)	AGUAZINHA (5)	MURIBECA (6)	JANGURUSSU(7)	PIRAÍ, RJ (8)	GRIFFIN, 1976 & LECKIE, 1975 (9)	TAICHUNG CITY (10)	TIENCHUNG (10)	CAXIMBA (11)
Idade (anos)	4	4,5	5	-	9	10	-	-	-	4,5	1	15
pH	6,45	6,76	7,46	8,1	7,8	7,9	8,3-8,8	8,0	4,0 - 8,0	8,2	7,8	6,98
Condutividade elétrica (mS/cm)	9,47	9,27	13,5	2,91	-	-	-	9,13	-	-	-	-
Temperatura (°C)	20,1	24,4	33,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,1	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	1014	931	-	-	756	792	200-850	287	-	620	743	5921
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	2287	1601	1000	-	13348	2545	657-12.267	933	1000 - 90000	3447	3641	15520
Nitrito (mg/L)	10,13	0,01	-	0,41	-	-	0,43-4261	-	-	-	-	-
Nitrato (mg/L)	6,7	3,85	-	n.d.	-	-	10-1445	-	0,1 - 10	-	-	-
Fósforo Total (mg/L)	17,5	3,78	-	1,15	-	-	0,37-44,53	-	1 - 100	15,4	27,5	-
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totais	4568	1351	17698	-	58998	8833	10000 - 28400	4611	5000-40000	-	-	23019
Sólidos Totais Fixos	3266	960	11381	-	-	-	-	147	-	194	66	-
Sólidos Totais Voláteis	1302	391	6317	-	15408	3437	-	-	-	160	58	-
Sólidos Suspensos Totais	-	-	23490	-	-	-	-	-	-	-	-	1228
Sólidos Suspensos Fixos	-	-	15170	-	-	-	-	-	-	-	-	148
Sólidos Suspensos Voláteis	-	-	8320	-	-	-	-	-	-	-	-	1080
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	-	219	512,4	143	-	-	-	456	-	2505	1452	-
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	-	44	33,6	-	-	-	-	-	10 - 1000	-	-	-

TABELA 4.5 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS LABORATORIAIS COM OUTROS ESTUDOS (Continuação)

PARÂMETRO	CHO - (1)	CHO - (2)	CHO - (3)	LAMENHA PEQUENA (4)	AGUAZINHA (5)	MURIBECA (6)	JANGURUSSU (7)	PIRAÍ, RJ (8)	GRIFFIN, 1976 & LECKIE, 1975 (9)	TAICHUNG CITY (10)	TIENCHUNG (10)	CAXIMBA (11)
Nitrogênio Kjeldhal (mg/L)	-	263	546	161	-	-	-	-	-	2648	1605	-
Sulfetos (mg/L)	-	-	-	n.d.	-	-	-	1,3	-	-	-	0,87
Sulfatos (mg/L)	-	-	-	53,4	-	-	-	-	10 - 1000	-	-	-
Carbonico Orgânico Total (mg/L)	-	-	0,791	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro (mg/L)	-	-	-	n.d.	1428	38	46,14	-	-	7,7	11,8	-
Cádmio (mg/L)	-	n.d.	-	n.d.	-	-	-	0,01	-	-	-	0,09
Alumínio (mg/L)	-	7	-	-	817	156	-	-	-	-	-	-
Chumbo (mg/L)	-	0,4	-	33,32	5,8	3,45	n.d.	-	< 5,0	-	-	<0,2
Mercúrio (mg/L)	-	n.d.	-	-	-	-	-	-	< 0,2	-	-	-
Cobre (mg/L)	-	0,65	-	-	34,5	2,4	-	0,03	<10	-	-	< 0,08
Cromo (mg/L)	-	0,65	-	15,5	-	-	0,84	-	-	1,1	1,3	-
Zinco (mg/L)	-	2,8	-	1,28	20,3	2,25	13,68	0,06	0,1 - 100	3,4	ND	2,7

1) Resultados deste estudo para condições de alta pluviosidade - 1ª campanha

2) Resultados deste estudo para condições de estiagem - 2ª campanha

3) Resultados deste estudo para condições de estiagem - 3ª campanha

4) Resultados do Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (1999). Aterro Sanitário de Lamenha Pequena. Curitiba, PR. Coleta em 1992.

5) Aterro de Aguazinha. Região Metropolitana de Recife.(MELO, 2002)

6) Aterro de Muribeca. Região Metropolitana de Recife.(MELO, 2002)

7) Lixão do Jangurussu, Fortaleza, Ceará; depósito de idade aproximada de 20 anos; monitoramento do efluente de base entre maio/1996-abril/1997 (OLIVEIRA e MOTA, 1998);

8) Aterro Sanitário de Pirai-RJ. Fonte: CAMPOS, 2002 IN PAES, 2003

9) GRIFFIN et al., 1976; LECKIE et al., 1975 citado em FREEZE & CHERRY, 1979

10) Dados do estudo de CHEN (1996)

11) Estudos de Tratabilidade do Efluente Líquido. Aterro da Caximba. Prefeitura Municipal de Curitiba. Dados da coleta realizada em 21/10/04

Como variáveis do modelo adotado assumiram-se como escala de tempo a variação de 1 hora a 15 anos e como variação espacial de 0 a 5 metros. Os valores dos coeficientes de dispersão hidrodinâmica (D), fator de retardamento (R) e o coeficiente de tortuosidade (t) foram adotados da literatura, a partir dos resultados de COELHO (2003 e 2004) e FREEZE & CHERRY (1979), estando apresentados na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – PARÂMETROS UTILIZADOS NA APLICAÇÃO DA LEI DE FICK

ELEMENTO	R	D (cm ² /s) (10 ⁻³)	t
Cd	0,90	1,35	0,1
Cr	3,23	2,09	0,1
Cu	1,05	1,29	0,1
Pb	1,49	1,18	0,1
Zn	0,88	1,22	0,1

1 – Valores obtidos para carga hidráulica de 102cm

2 – Valores de D obtidos para velocidade de percolação de $1,064 \times 10^{-3}$ cm/s

Os valores de R, D e t foram escolhidos de modo a melhor representar as condições existentes em Jacarezinho. O fato de o efluente da estação de tratamento ser disposto e posteriormente infiltrado naturalmente no solo, reproduz uma situação que se aproxima das condições de saturação do solo em épocas de chuva, não infiltrando qualquer efluente em épocas de estiagem. Ao percolar pelo solo, a cargas hidráulicas correspondentes à coluna de líquido acima do ponto em questão correspondem à profundidade do mesmo. A partir desta concepção, foram adotados os resultados de fator de retardamento R obtidos para o ensaio de coluna com maior carga hidráulica (102cm). A baixa permeabilidade do solo encontrado na área de infiltração de efluente leva a considerar a mais baixa velocidade experimental ($v = 1,064 \times 10^{-3}$ cm/s) obtida no estudo de COELHO (2003).

Para efeito comparativo, esboçou-se na Figura 4.8, utilizando-se os parâmetros supracitados, o comportamento dispersivo de diferentes metais pesados para 10 dias e 1 ano de operação e para as condições de contorno da área de infiltração de efluente da estação de tratamento de chorume do aterro de Jacarezinho.

FIGURA 4.8 - COMPARATIVO ENTRE A DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM 10 DIAS DE OPERAÇÃO

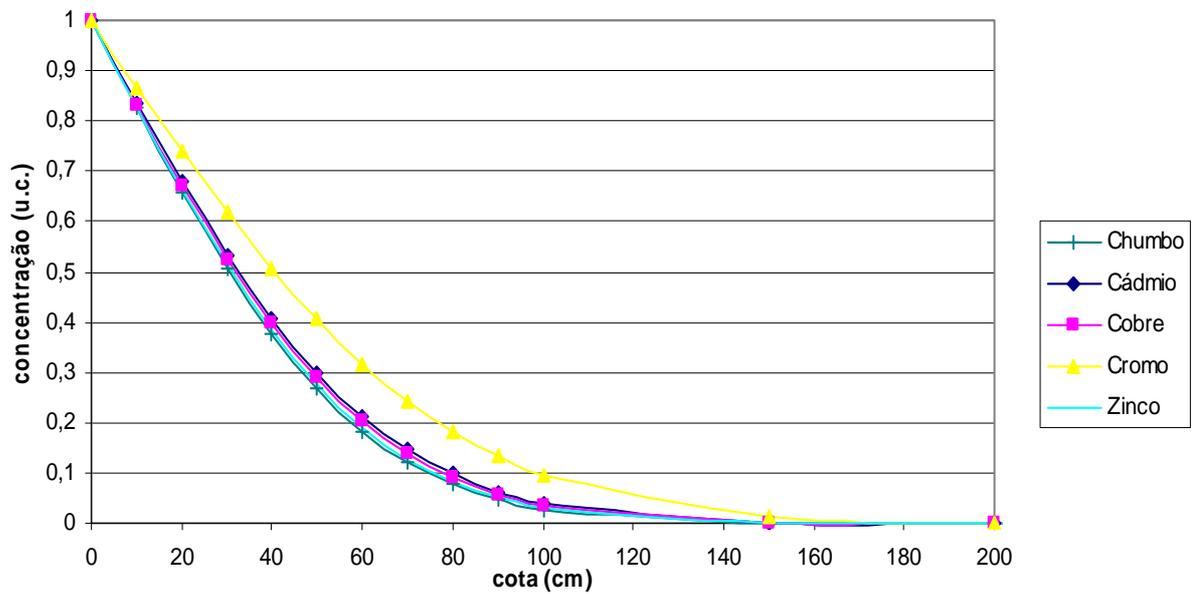
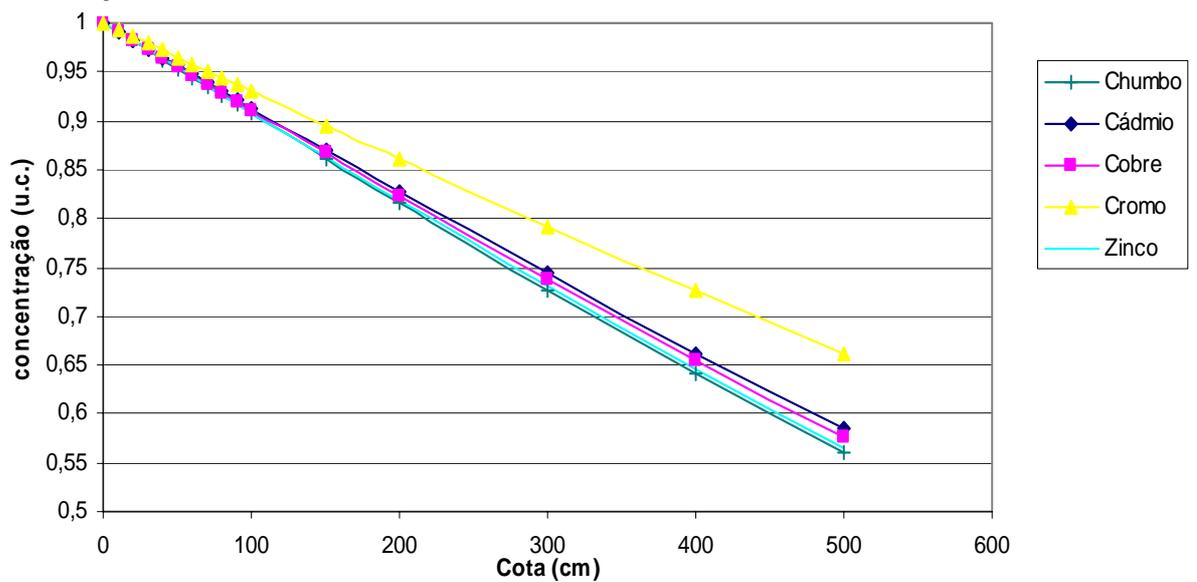


FIGURA 4.9 - COMPARATIVO ENTRE A DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM 1 ANO DE OPERAÇÃO



4.1.3 Impactos Ambientais do Aterro de Jacarezinho

No aterro municipal de Jacarezinho foram identificadas algumas falhas na concepção do projeto, na implantação e na operação deste. Estas falhas podem ou não implicar em impactos ao meio ambiente, sendo cada uma delas discriminada nos capítulos subseqüentes e resumidas em uma matriz de aspectos e impactos ambientais na Tabela 4.8.

De acordo com a avaliação realizada por RAMOS (2004), o aterro de disposição de resíduos sólidos urbanos de Jacarezinho apresenta as seguintes falhas: faltam cobertura e compactação dos resíduos, ausência de impermeabilização adequada, sistema de drenagem ineficiente e presença de agentes coletores na frente de trabalho. De acordo com este mesmo estudo, o aterro apresentou IQR/ATERRO (Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos) igual a 6,92. Este valor indica que o aterro pode ser apenas enquadrado como controlado e não como operando em condições adequadas (aterro sanitário), conforme projeto. Já o Instituto Ambiental do Paraná considera, em seu Relatório de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos (2003) tal aterro como operando em condições adequadas (RAMOS, 2004).

A antiga área de lixão não possuía nenhum controle quanto a quantidade e característica dos resíduos urbanos e industriais que ali eram despejados. A falta de informação dificulta o tratamento e diagnóstico ambiental da área. Atualmente, o controle continua não existindo, embora existam alguns acordos entre prefeitura e indústrias para co-disposição de resíduos industriais e domiciliares no aterro de Jacarezinho. Um dos grandes frigoríficos da região, por exemplo, despeja diariamente cerca de 5 toneladas de ossadas e outros resíduos.

A operação do aterro deficitária pode ser observada na Figura 4.10 onde células consideradas encerradas não foram sequer cobertas com camada de impermeabilização.

FIGURA 4.10 – CÉLULAS DE RESÍDUOS CONSIDERADAS ENCERRADAS



4.1.3.1 Impactos no meio físico

A localização do aterro de Jacarezinho, afastada do centro urbano, em área rural, sem construções vizinhas, minimiza impactos decorrentes de alteração de paisagem, dispersão de lixo (desprendimento de sacos plásticos) e odores. O aproveitamento para instalação do aterro na mesma área do antigo lixão da cidade possibilitou que novos impactos fossem evitados para a instalação do mesmo em outra área.

A topografia local, relevo ondulado, favorece a forma de disposição utilizada minimizando impactos decorrentes de tal atividade. Contudo, não existem os poços de monitoramento de solo e água subterrânea obrigatórios, a montante e a jusante da vertente do aterro. Tal negligência na implantação e operação do aterro agrava-se pelo fato de que o efluente da estação de tratamento de chorume é infiltrado no solo e não há programa de monitoramento para garantir que o meio ambiente não esteja sendo contaminado.

Dentro dos limites do aterro municipal de Jacarezinho há uma moradia onde vive um vigilante e sua família, contratado pela prefeitura para cuidar das instalações

do aterro. Esta família usufrui, para as atividades domiciliares do dia a dia, de água captada de um poço tubular profundo construído nas imediações do aterro para tal fim. O poço de captação de água foi perfurado, na mesma vertente em que se encontra o aterro, como mostrado na Figura 4.11. As entradas de água do poço não puderam ser identificadas por não existir, junto à Prefeitura de Jacarezinho ou à SUDERHSA, registros do boletim de campo referente a execução do poço – perfil geológico.

FIGURA 4.11 – LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE CAPTAÇÃO EM RELAÇÃO AO ATERRO



A investigação da qualidade da água do poço, visando à avaliação da contaminação do aquífero confinado apresentou, na amostra coletada na segunda campanha, níveis elevados do elemento chumbo. A quantidade de chumbo encontrada é 25 vezes superior ao permitido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde, como pode ser constatado na Tabela 4.7 e, conseqüentemente, traz indícios de contaminação do aquífero. A fim de confirmar a contaminação por chumbo no aquífero local, na terceira campanha foi coletada nova amostra de água subterrânea. Nesta amostra foram investigados os parâmetros Chumbo, Ferro, Cromo e Cloretos Solúveis pelo Laboratório de Análises Químicas do LACTEC, não sendo detectado nenhum dos elementos, exceto pelo parâmetro cloretos solúveis, que apresentou concentração de

1,0 mg/L na amostragem realizada em março de 2005. O procedimento de análise é descrito em AOAC (2000).

A fim de atribuir maior fidedignidade aos dados obtidos, a mesma amostra foi analisada, de forma mais minuciosa, no CEPPA - Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos da UFPR para que houvesse confirmação dos resultados. Foram investigados os seguintes metais pesados: Alumínio, Bário, Cádmiu, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Ferro, Níquel, Prata, Vanádio e Zinco. O procedimento de análise é descrito em AOAC (2000). Os resultados das análises se confirmaram: não detectável para todos os parâmetros.

TABELA 4.7 – RESULTADOS ANALÍTICOS DOS METAIS PESADOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO ATERRO DE JACAREZINHO NA SEGUNDA CAMPANHA

PARÂMETRO	Cd (*0,005)	Al	Pb (* 0,01)	Hg (*0,002)	Cu	Cr (*0,01)	Fe (*0,05)	Zn
Concentração na água do poço do aterro (mg/L) setembro 2004	n.d.	<0,1	0,25	n.d.	<0,03	<0,05	-	0,10
Concentração máxima permitida Portaria 518/04 (mg/L)	0,005	-	0,01	0,001	2	0,05	0,3	5

Assim sendo, com base nos parâmetros legais de potabilidade, pode-se observar que houve indícios de contaminação na amostra da segunda campanha de campo, não sendo confirmada a contaminação na amostra da terceira campanha, donde se conclui que o aquífero local pode estar contaminado, mas a comprovação disto requer novas análises laboratoriais. Nota-se diante deste fato, a importância de um programa de monitoramento periódico na área de influência do aterro. Caso haja contaminação, a provável fonte é o chorume originado na massa interior do aterro que percola através do solo. Por não possuir nenhum tipo de impermeabilização, o lixiviado pode atingir lentes de material friável que facilmente drenam o contaminante até o aquífero local.

Três poderiam ser as fontes de contaminação. A primeira é a antiga área de lixão, uma vez que o resíduo era despejado sem qualquer critério e sem os devidos cuidados de proteção ambiental. A segunda é o próprio aterro, por não ser operado de forma adequada, com execução canais de drenagem, impermeabilização e outros cuidados. A terceira fonte potencial seria a área de infiltração do chorume tratado, retratada na Figura 4.12, porquanto não há poços de monitoramento, muito menos um programa de monitoramento, que garantam a eficiência desta forma de disposição.

Qualquer combinação destas três fontes de contaminação pode acarretar no comprometimento da utilização das águas subterrâneas e solo pelas gerações futuras.

FIGURA 4.12 - ÁREA DE INFILTRAÇÃO NO SOLO DO EFLUENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME



As valas de disposição de resíduos sépticos, ou seja, resíduos de hospitais, postos de saúde, clínicas odontológicas, são dispostos em valas específicas para este fim. Estas valas possuem tampa metálica móvel durante toda sua vida útil quando então é selada com camada argilosa. O solo de fundo destas valas não possui qualquer tipo de impermeabilização, como pode ser observado na Figura 4.13.

FIGURA 4.13 – VALA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÉPTICOS



A drenagem dos gases é ineficiente e insuficiente. A área de influência de cada dreno de gases é, usualmente, delimitada por um raio 15 metros, perfazendo uma área total de 177m². A área atualmente empregada para disposição de resíduos supera 10.000m² e apenas 3 queimadores foram construídos. Este fato, atrelado a ausência de canais de drenagem e gases e a ausência de um procedimento de queima, por meio de indução de chama nos queimadores, contribui para a instabilidade geotécnica da massa de resíduos e aumenta o risco de explosões na área pela geração de gases que ficam confinados no interior da massa. A queima dos gases contribui também para a preservação da qualidade do ar global, inserindo-se no contexto da comercialização de créditos de carbono. Um dos “queimadores” executado pode ser observado na Figura 4.14.

FIGURA 4.14 – QUEIMADOR DE GASES



4.1.3.2 Impactos na biota

A maior influência sobre o meio biótico ocorre na fase de implantação, com as eventuais supressões vegetais e de *habitats* de espécies, principalmente para aqueles ameaçados de extinção.

A aproximação de aves durante a operação de aterros sanitários apresenta-se como um aspecto comum a ser enfrentado, como pode ser observado na Figura 4.15, mesmo quando se emprega a pronta e eficiente cobertura dos resíduos dispostos. Na prática, durante o processo de descarga dos resíduos, pode ocorrer aproximação de urubus, gaivotas, garças e outros pássaros.

FIGURA 4.15 – PRESENÇA DE GRANDE QUANTIDADE DE URUBUS NO ATERRO



Desta forma, deve-se estar preparado para o emprego de outros meios que contornem este problema. A alternativa mais comum compreende o uso sistemático de queima de fogos de artifício para que sejam afastadas essas aves das frentes de lançamento. Outra técnica que pode ser aplicada consiste no emprego de aves de rapina treinadas (gaviões, corujas e outros), para afastar as aves indesejáveis (NAHAS, 2004).

Para agravar a situação, os catadores que atuam no aterro costumam criar cães e cavalos em meio aos resíduos. Estes se alimentam de dos restos e detritos e com frequência banham-se nas lagoas de tratamento de chorume, onde também matam sua sede.

4.1.3.3 Impactos Sócio-Econômico-Culturais

Os impactos sociais, econômicos e culturais são, talvez, os mais difíceis de serem identificados e quantificados. Estes, na maioria das vezes, possuem caráter indireto e abrangem grandes populações.

No antigo lixão de Jacarezinho atuavam diretamente sobre os resíduos indistintamente homens, mulheres e crianças. Estes tiravam do lixo seu sustento, dentre alimentos e sucatas que eram posteriormente vendidos. Com a implantação do novo aterro de Jacarezinho e, paralelamente, o desenvolvimento do mercado de recicláveis, formou-se uma nova realidade. O que era uma preocupação social tornou-se uma alternativa ambientalmente viável.

O próprio projeto de implantação do aterro contempla um barracão onde hoje atuam catadores, autorizados pela prefeitura de Jacarezinho, a fim de promover a triagem dos recicláveis junto aos resíduos que chegam ao aterro. Os resíduos são compactados por meio de uma prensa mecânica. Os cerca de 10 trabalhadores estão organizados por meio de uma associação, e vendem o material arrecadado para recicladoras da região. Este é um dos impactos positivos de maior importância, mas apresenta uma falha grave de concepção. O município deveria implantar um programa de coleta seletiva junto à população, com a minimização da geração de resíduos na fonte. A partir do momento em que há catadores na frente de trabalho do aterro, este se descaracteriza como aterro sanitário, uma vez que tal situação não condiz com a legislação. São várias as experiências de sucesso com programas deste tipo, como por exemplo, Curitiba, Ribeirão Claro (SP), Cianorte e Barra do Jacaré, onde a população participa de forma ativa e reconhece a importância da recirculação e reaproveitamentos dos recursos naturais e energéticos.

Constituem-se aspectos de interesse ambiental, no caso específico do aterro municipal de Jacarezinho, os tópicos apresentados na Tabela 4.8:

TABELA 4.8 – RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE JACAREZINHO

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL CORRELATO	NATUREZA DO IMPACTO	CONDIÇÃO	SITUAÇÃO ATUAL	AÇÃO CORRETIVA
Destinação final dos resíduos do município	Saúde pública preservada, promoção de solução única	Positiva	Excelente	Atendimento de quase a totalidade da população de Jacarezinho	- x -
Localização aterro: prejuízo às populações vizinhas	Mal-cheiro, desprendimento de sacos plásticos	Negativa	Excelente	Inexistência de moradores próximos ao aterro	- x -
	Trânsito de veículos transportadores de resíduos	Negativa	Boa	Estrada de anti-pó em más condições não sendo o aterro acessível em períodos chuvosos	Melhoria das condições de acesso ao aterro (pavimentação da estrada)
	Proliferação de vetores e doenças	Negativa	Regular	Ocorrência de muitos roedores e moscas nos arredores do aterro	Cobertura diária do aterro.
Infra-estrutura do aterro	Existência de cercas e limites definidos	Positiva	Excelente	Cercas e limites bem definidos e protegidos	- x -
	Máquinas e equipamentos próprios disponíveis para operação do aterro	Positiva	Boa	Equipamentos em boas condições de operação embora os modos de operação não sejam adequados	Reestruturação da operação do aterro
	Existência de vigilante	Positiva	Excelente	Vigilância 24 h/dia	- x -
	Condições salubres de moradia do vigilante	Positiva	Ruim	Residência muito próxima à área de disposição de resíduos, água de abastecimento não-potável, crianças brincando livremente sobre os resíduos e sujeitas aos vetores existentes em grande quantidade no local	Relocação da moradia do vigilante

TABELA 4.8 – RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE JACAREZINHO (Continuação)

Operação do aterro	Quantificação do resíduo que chega ao aterro	Positiva	Ruim	Existe balança no local, mas não está operando	Colocar a balança em funcionamento
	Compactação do resíduo	Positiva	Regular	A compactação se dá pela passagem de pá-carregadeira durante o espalhamento dos resíduos	Implantar sistema de compactação mais eficiente buscando aumentar a vida útil do aterro
	Existência de poços de monitoramento e controle de solo e água subterrânea	Positiva	Ruim	Inexistem	Implantação de poços de monitoramento
	Existência de vetores no local	Negativa	Ruim	Existência de muitos ratos, moscas e urubus no local pela não-cobertura diária do resíduo	Cobertura diária do resíduo com material inerte
Sistema de tratamento de chorume	Melhoria da qualidade do líquido devolvido ao ambiente	Positiva	Ruim	Parâmetros ambientais oscilam bastante. Ausência de controle compromete qualidade do sistema	Implantação de Programa de Monitoramento de efluentes
	Coleta de todo o líquido gerado no interior do aterro	Positiva	Ruim	Inexistência dos canais drenantes existentes no projeto	Construção dos canais drenantes constantes em projeto
	Atendimento dos padrões ambientais legais do efluente – Monitoramento dos efluentes	Positiva	Ruim	Oscilação e inexistência de monitoramento e controle sobre atendimento ou não dos padrões ambientais legais	Implantação de Programa de Monitoramento de efluentes
	Manutenção periódica e acompanhamento técnico da eficiência do tratamento	Positiva	Ruim	Sistema de Tratamento implantado, porém nunca operado. Lodo gerado nunca retirado das lagoas	Implantação de Programa de Manutenção e Operação do Sistema com acompanhamento técnico

TABELA 4.8 – RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE JACAREZINHO (Continuação)

Sistema de infiltração do líquido tratado	Recarga dos aquíferos locais	Positiva	Excelente	Sistema inadequado de disposição comprovado pela contaminação por metais pesados existente no aquífero local	Adoção de sistema de tratamento mais eficiente
	Capacidade de Atenuação Natural do Solo	Positiva	Regular	Capacidade de Atenuação natural do solo é limitada	Aprimorar sistema de infiltração e monitorar solo e água subterrânea
	Padrões de emissão do líquido infiltrado fora dos padrões legais	Negativa	Ruim	Contaminação do aquífero local	Adoção de sistema de tratamento mais eficiente
Controle de emissão de gases	Existência de sistema drenante de gases	Positiva	Regular	Existência de drenos em baixa quantidade e construídos sem critérios técnicos	Acompanhamento técnico durante a execução para que estes funcionem adequadamente
	Aproveitamento dos gases gerados	Positiva	Ruim	Impossibilidade de aproveitamento dos gases pelas condições inadequadas de construção dos drenos	Reestruturação e adequação do sistema drenante de gases
Coleta Seletiva	Existência de Programa de Coleta Seletiva	Positiva	Ruim	Inexistência de Programa de Coleta Seletiva	Implantação junto a comunidade de Programa de Coleta Seletiva
	Centro de Triagem junto ao aterro	Positiva	Regular	Triagem realizada no momento da descarga dos resíduos	Implantação junto a comunidade de Programa de Coleta Seletiva
	Utilização de Equipamentos de Proteção Individual pelos colaboradores do Centro de Triagem	Positiva	Boa	Utilização de EPI's por parte dos trabalhadores embora estes não tenham sido fornecidos pela prefeitura	Implantação de Programa de Capacitação e Fornecimento de condições de trabalho aos colaboradores do aterro

Critérios: Excelente, Bom, Regular, Ruim

4.1.4 Ações Corretivas e Mitigadoras

No processo de implantação e operação do aterro municipal de Jacarezinho foram identificados vários aspectos que podem comprometer as condições ambientais no qual este se insere. A preocupação com o meio ambiente e a saúde pública é uma constante nos tempos atuais e vindouros, devido à escassez de áreas e à problemática dos RSU como anteriormente explanado.

Deve-se tomar como impacto ambiental positivo de maior relevância o fato de que o aterro sanitário constitui-se em uma solução para a destinação dos resíduos sólidos, ainda que o benefício desta forma de destinação final seja contestado por muitos técnicos e pesquisadores. Todavia, critérios técnicos devem ser observados durante o processo de implantação e operação dos aterros sanitários.

Em Jacarezinho, a concepção do aterro sanitário aconteceu de forma apropriada se forem observadas as normas técnicas brasileiras. Embora os projetos estejam em acordo com a boa técnica, constata-se que a operação se dá de maneira bastante ineficiente, comprometendo por vezes as condições ambientais locais.

A localização do aterro é favorável, pois no entorno da área de disposição inexistem vizinhos e esta se situa relativamente próxima ao centro urbano. Tal localização diminui os riscos de proliferação de vetores e o incômodo com sacos plásticos que se desprendem durante a compactação do resíduo. A existência de limites bem definidos, através da utilização de cercas e arborização no entorno do aterro, impede o acesso de estranhos à área e contribui para a minimização dos efeitos supracitados.

No que tange ao acesso ao aterro, este deve ser melhorado. O acesso único constitui-se de uma estrada de antipó e fica comprometido em épocas de chuvas inviabilizando o transporte de RSU nestes dias. Uma das soluções seria sua pavimentação uma vez que esta é de grande importância para o município.

A operação do aterro é o fator que merece maior atenção no que concerne aos impactos ambientais. O aterro municipal de Jacarezinho não possui a atenção mínima necessária à operação de um aterro sanitário. Inexistem condições básicas como, por

exemplo, Programas de Monitoramento da Qualidade de Efluentes, Poços de Monitoramento de Solos e Águas Subterrâneas, Quantificação dos Resíduos dispostos no aterro, Programa de Coleta Seletiva junto à população, entre outros. Há que se destacar que nem mesmo a cobertura diária com material inerte, como estabelecido na norma técnica NBR 8419/92 da ABNT, é realizada. A cobertura diária é importante por minimizar efeitos de proliferação de vetores, que acarretam em problemas sanitários graves à população, e minimizar a geração de percolados no interior do aterro.

Medida simples, como a compactação dos resíduos, poderia prolongar substancialmente a vida útil do aterro e minimizar os impactos ambientais advindos deste. O cerne da questão está no acompanhamento, por técnico devidamente capacitado e habilitado, para que medidas simples como a execução de drenos para gases, por exemplo, sejam executados a contento. Outra medida importante, que colabora para melhorar a eficiência do tratamento do chorume, é a remoção periódica do lodo de fundo das lagoas de tratamento. Este lodo, rico em potenciais contaminantes como os metais pesados, deve ser redistribuído no aterro, formando-se um ciclo fechado, desde que sejam observadas as condições de impermeabilização e drenagem de líquidos.

Em épocas atuais, com o início da vigência do Protocolo de Kyoto, em 16 de fevereiro de 2005, o que traz a temática de créditos do carbono à tona, investidores estrangeiros têm incentivado e investido no aproveitamento dos gases gerados em aterros. Os gestores municipais deveriam estar atentos para este mercado que se abre e buscar adequar seus aterros ao aproveitamento do metano gerado por seus resíduos. Em Jacarezinho não deveria ser diferente. Um município com cerca de quarenta mil habitantes merecia uma maior atenção no que concerne à gestão dos RSU. Um programa de conscientização ambiental e a promoção do programa de coleta seletiva, voltado para a população, deveriam ser implantados em caráter emergencial, visto que é um trabalho que demanda tempo, recursos financeiros e devendo ser programados a longo prazo para obtenção de resultados satisfatórios.

Nem mesmo os drenos de base vêm sendo executados, ficando o líquido gerado (chorume) a mercê da capacidade de atenuação natural do solo base do aterro, característica notadamente de lixão. Aqui cabem algumas questões: Se os drenos não vêm sendo executados, qual a função do sistema de tratamento de percolados? Dado que o sistema de tratamento não possui nenhum acompanhamento laboratorial dos parâmetros de seu efluente, como garantir que este atende aos parâmetros legais? O sistema de infiltração do efluente no solo é adequado às condições de solo e efluente locais? Como garantir que não há contaminação de solo e águas subterrâneas se não existem poços de monitoramento? Como dimensionar ou estimar a vida útil do aterro, ou ainda, entender o desenvolvimento sócio-econômico do município de Jacarezinho se o resíduo não é quantificado ou controlado?

A questão dos resíduos sólidos há muito deixou de ser secundária na gestão dos municípios, principalmente naqueles de porte médio e grande. Até que ponto é viável ambiental e economicamente o descaso, por parte das autoridades municipais, seja por falta de preparo técnico ou escassez de recursos, com o consentimento de órgãos fiscalizadores de outras esferas, como o IAP e SUDERHSA, julgando que estas atividades possam estar em acordo com a boa técnica? Na sociedade atual não há mais espaço para a má gestão de recursos, sejam ambientais ou econômicos, de forma a comprometer o desenvolvimento sustentado, um dos mais fortes anseios da sociedade.

4.2 ESTUDO DE CASO II - BARRA DO JACARÉ

4.2.1 Discussão de Resultados

Diferentemente do aterro de Jacarezinho, a área municipal de disposição de RSU de Barra do Jacaré não possui sistema de coleta e tratamento de chorume. O poço de monitoramento existente no projeto não foi construído, pois durante sua execução, encontrou-se o maciço rochoso com apenas 2,5 metros de profundidade, como informado pelo executor da obra do aterro e comprovado *in loco* (José Odécio Furlan Jr, contato pessoal, 2004).

A Tabela 4.9 e as Figuras 4.16 e 4.17 comprovam a característica argilosa do solo encontrado em Barra do Jacaré. Trata-se de uma argila siltosa plástica. As argilas são lamelares e possuem alta superfície específica, característica que lhes confere uma alta capacidade de sorção de contaminantes. A caracterização do solo local é mostrada abaixo:

TABELA 4.9 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

PARÂMETRO	VALOR
Teor de umidade (%)	35,94
Limite de Liquidez (%)	46
Limite de Plasticidade (%)	36
Massa Específica (g/cm ³)	2,927

FIGURA 4.16- CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO ABNT

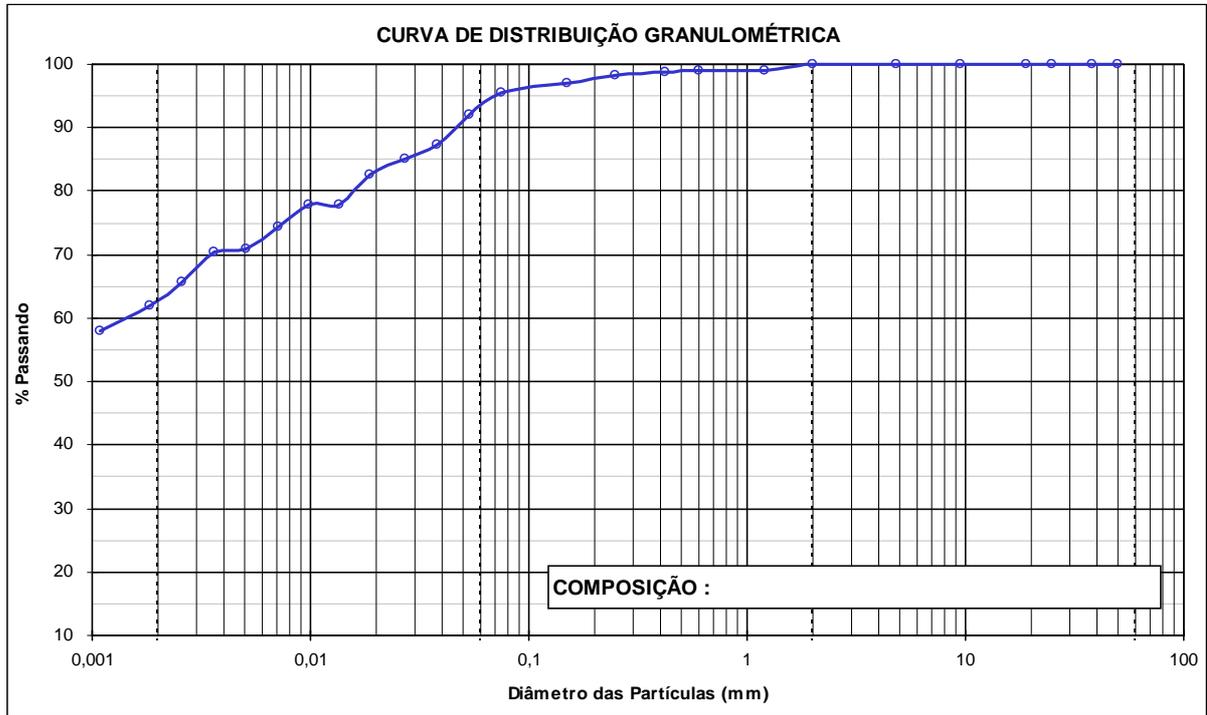
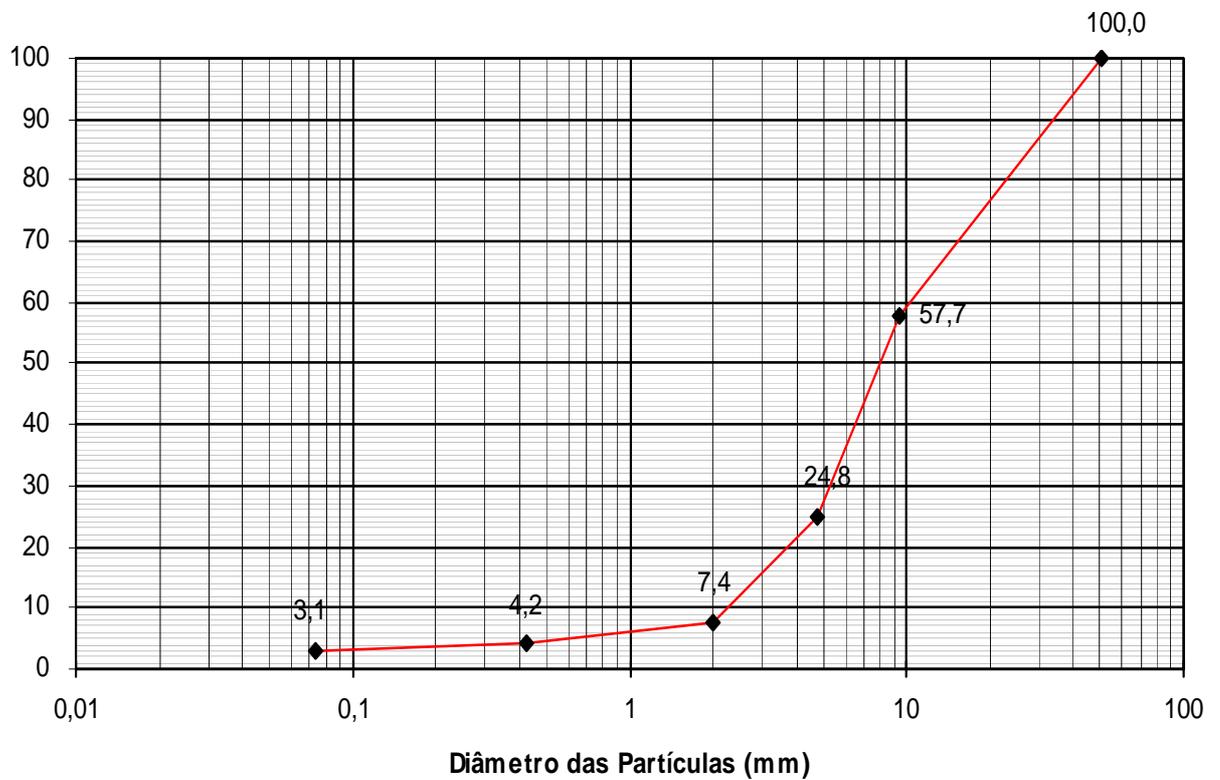


FIGURA 4.17 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DNER



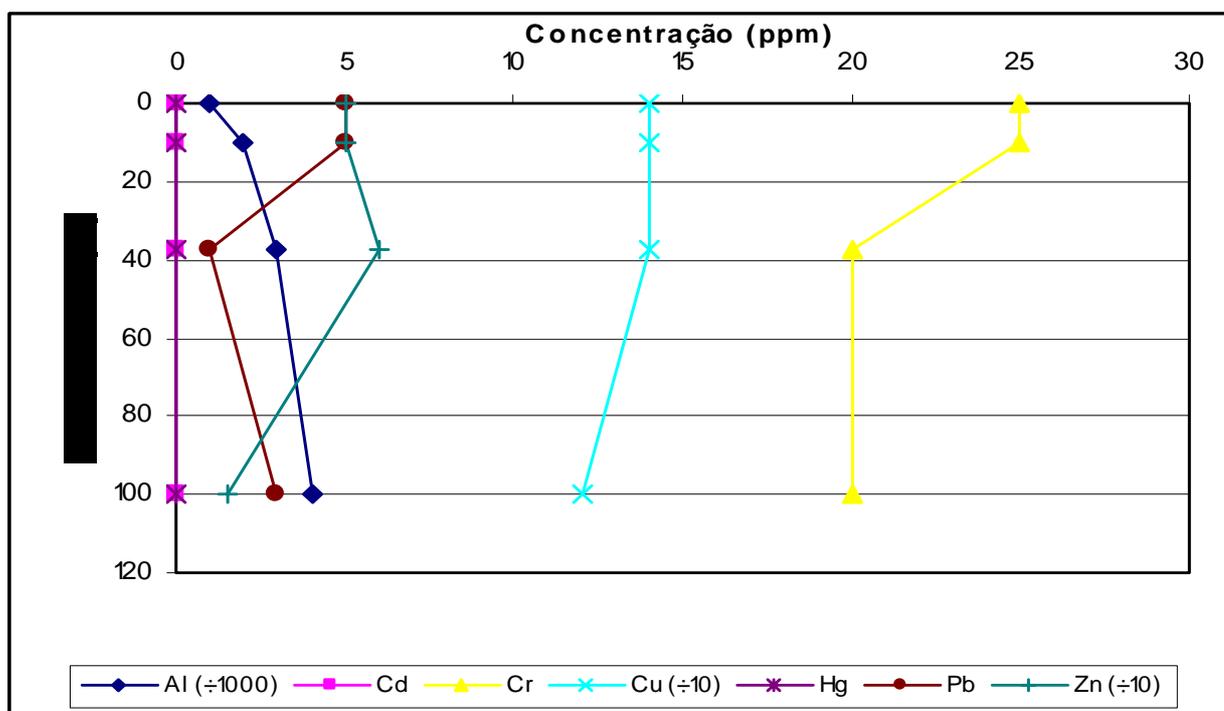
Os ensaios que determinaram o coeficiente de permeabilidade do solo local foram realizados segundo as orientações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1996). Com o intuito de aproveitar furos executados para os ensaios de permeabilidade, as amostras de solo para análise de metais pesados foram coletadas no mesmo ponto, ao longo do perfil do solo, através de amostras compostas. Os furos foram executados imediatamente ao lado de uma das células do aterro e serviram tanto para a caracterização do solo quanto para elaboração do perfil de transporte no solo dos metais pesados. As profundidades de coleta e os resultados obtidos na análise laboratorial podem ser observados na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 - RESULTADOS DE METAIS PESADOS EM FURO PRÓXIMO AO ATERRO

PARÂMETRO (em mg/L)	Cd	Al	Pb	Hg	Cu	Cr	Zn
PBJ - solo área adjacente aterro (0 - 5cm)	ND	9.700	5	<0,1	140	25	50
PBJ - solo área adjacente aterro (5 - 80cm)	ND	10.500	<2	<0,1	140	20	60
PBJ - solo área adjacente aterro (80 -120cm)	ND	9.500	3	<0,1	120	20	15

O comportamento do movimento dos metais pesados na área adjacente a uma das células do aterro de Barra do Jacaré pode ser observado no perfil descrito na Figura 4.18.

FIGURA 4.18 – MOVIMENTO DOS METAIS PESADOS NO SOLO



A observação da distribuição dos metais pesados através do perfil de solo indica que está havendo o transporte, de forma significativa, de contaminantes. Os resultados mostram que as plumas de contaminação dos diferentes metais pesados encontram-se em diferentes profundidades, apesar de o solo possuir naturalmente teores de Zinco, Alumínio e outros metais. Este comportamento oscilatório, como se observa, por exemplo, com o metal chumbo (Pb) pode ser provocado pelas características de heterogeneidade do solo e condições hídricas de percolação. Por se tratar de um aterro jovem, cerca de 4 anos, estes contaminantes tendem a atingir as camadas mais inferiores de solo, inclusive a interface solo-macizo, onde o intemperismo proporciona condições pedológicas favoráveis ao transporte de contaminantes e contaminação do solo, por se tratar de uma camada mais permeável. Por este motivo, o monitoramento do aquífero subterrâneo deve ser realizado, as valas devem ser impermeabilizadas de modo a garantir que este não esteja contaminado.

Sob o ponto de vista hidrogeológico e ambiental, o aterro de Barra do Jacaré encontra-se em uma posição desfavorável em relação à captação de água de abastecimento do município, ou seja, o aterro encontra-se na mesma vertente do poço de captação, em posição topográfica mais elevada. Para investigação da contaminação do aquífero pelo aterro municipal foram solicitadas análises químicas da água subterrânea captada no poço tubular profundo que abastece o município. Os resultados estão expostos nas Tabelas 4.11 a 4.14 e confrontados com a Portaria MS 518/04 (Ministério da Saúde, 2004).

TABELA 4.11- CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DISTRIBUÍDA EM BARRA DO JACARÉ

PARÂMETROS	MÉDIA DOS ÚLTIMOS 10 RESULTADOS	MAX. PERMITIDO PORTARIA MS 518/04
Cor Aparente (uH-Un.Cor)	0,0	15,0
Fluoretos (mg/L F)	0,6	0,6 a 1,1
Turbidez (NTU)	0,34	5,0
pH (Un. pH)	7,2	6,0 a 9,5
Cloro Residual (mg/L Cl)	1,0	0,2 a 2,0
Alumínio (mg/L Al)	0,0	0,2
Ferro Total (mg/L Fe)	---	0,3
Manganês (mg/L Mn)	---	0,1
Coliformes Totais (Ausente)	0,0	(0)
Coliformes Termotolerantes (Ausente)	0,0	(0)

FONTE: SANEPAR (2004)

TABELA 4.12 - NÍVEIS DE METAIS PESADOS NA ÁGUA CAPTADA NO POÇO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO – AMOSTRAS 1 E 2

PARÂMETRO	RESULTADO (mg/L) AMOSTRA 1	RESULTADO (mg/L) AMOSTRA 2	VMP-PORTARIA MS 518/04 (mg/L)
Alumínio	0,000	0,000	0,2
Arsênio	0,00	0,00	0,01
Bário	0,2	0,1	0,7
Cádmio	0,000	0,000	0,005
Chumbo	0,00	0,00	0,01
Cobre	0,0	0,0	2,0
Cromo Total	0,00	0,00	0,05
Ferro Total	0,000	0,000	0,3
Manganês	0,000	0,000	0,1
Mercurio	0,000	0,000	0,001
Selênio	0,00	0,00	0,01
Zinco	0,0	0,0	5,0
Sódio	21,6	21,5	200
Antimônio	0,000	0,000	0,005

Fonte: SANEPAR (2004)

TABELA 4.13 – PARÂMETROS FÍSICO- QUÍMICOS DA ÁGUA CAPTADA NO POÇO

PARÂMETRO	RESULTADO	VMP-PORTARIA MS 518/04
Cor Aparente (uH-un. Cor)	2,5	15,0
Cianetos (mg/L)	0,00	0,07
Fluoretos (mg/L)	1,1	0,6 a 1,1
Nitratos (mg/L)	3,54	10,0
Turbidez (NTU)	0,79	5,0
Surfactantes (Ag. Tensoativo) (mg/L)	0,05	0,5
Cloretos (mg/L)	9,0	250,0
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	112,0	500,0
pH	7,3	6,0 a 9,5
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	186,0	1000,0
Sulfatos (mg/L)	4,0	400,0
Nitritos (mg/L)	0,004	1,0
Matéria Orgânica (mg/L)	0,4	-
Amônia (mg/L)	0,00	1,5
Sulfeto de Hidrogênio (mg/L)	0,00	0,05

FONTE: SANEPAR (2004)

TABELA 4.14 – NÍVEIS DE AGROQUÍMICOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

PARÂMETRO	RESULTADO	VMP- PORTARIA MS 518/04
Aldrin (ug/L)	0,000	0,03
Clordano (total de isômeros) (ug/L)	0,000	0,2
DDT(p-p' DDT;o-p' DDT;p-pDDE;o)(ug/L)	0,000	2,0
Endrin (ug/L)	0,000	0,6
Heptacloro (ug/L)	0,000	0,03
Hexaclorobenzeno (ug/L)	0,000	1,0
Lindano (Gama HCH) (ug/L)	0,000	2,0
Metoxicloro (ug/L)	0,000	20,0
Toxafeno (ug/L)	0,000	5,0
2,4,6 Triclorofenol (mg/L)	0,000	0,2
Trifluralina (ug/L)	0,000	20,0
Dieldrin (ug/L)	0,000	0,03
Heptacloro Epoxido (ug/L)	0,000	0,1
Endossulfan (ug/L)	0,000	20

FONTE: SANEPAR (2004)

Considerando os dados acima expostos, verifica-se que não há contaminação do aquífero subterrâneo, seja por agroquímicos, seja pela percolação de chorume do aterro municipal. No entanto, a pequena camada de solo que recobre o maciço rochoso local indica que a fragilidade ambiental é alta e que cuidados adicionais devem ser tomados. O risco de contaminação é alto, principalmente com a evolução da pluma de contaminantes que tende a aumentar com o passar dos anos, atingido a interface maciço rochoso – solo, onde o intemperismo e a oxidação destes materiais dá origem a uma camada de alta permeabilidade, facilitando o fluxo de contaminantes. O monitoramento deve ser constante e periódico dada a importância do aquífero para o abastecimento público municipal.

4.2.2 Impactos Ambientais na Área de Disposição de Barra do Jacaré

Como pôde ser constatado nas três visitas de campo, a operação das valas é inadequada, pois cuidados com a cobertura diária dos resíduos com material inerte, a compactação dos resíduos, a impermeabilização, a drenagem e o tratamento de percolados não são realizados. A remediação desta impactante atividade fica a cargo da natureza e sua limitada capacidade de atenuação e biodegradação. Nota-se que há

um verdadeiro despreparo técnico dos gestores municipais. Estes deveriam receber suporte técnico periódico de órgãos ambientais, instituições públicas de ensino e centros de pesquisa, como a SUDERHSA, o IAP e as Universidades, a fim de aprimorar constantemente a gestão de seus resíduos sólidos urbanos.

4.2.2.1 Impactos no meio físico

A operação da valas acontece de forma precária e condicionada ao funcionamento e disponibilidade de um único equipamento municipal de terraplenagem para realização dos procedimentos de abertura, cobertura e fechamento de valas. Por vezes, os RSU passam vários dias sem cobertura por camada de material inerte, facilitando a proliferação de vetores, entre outros impactos, como mostrado na Figura 4.19.

FIGURA 4.19 – VALAS SEM COBERTURA DIÁRIA COM CAMADA DE ARGILA



A concepção e operação das valas possuem alguns aspectos preocupantes no tocante à fragilidade ambiental local. O primeiro aspecto seria referente à localização da área. Como mencionado anteriormente, a área situa-se no topo de um morro próximo à zona urbana do município, tendo como agravante, o abastecimento público

de água potável do município que é realizado através de poço tubular profundo na mesma vertente em que está localizado o aterro. As localizações do poço de captação de água subterrânea e do aterro estão indicadas na Figura 4.20. O boletim de sondagem com o perfil geológico do poço é mostrado no Anexo 3.

FIGURA 4.20 - LOCALIZAÇÃO DO POÇO DE ABASTECIMENTO MUNICIPAL



Um outro agravante inerente à localização do aterro é o retorno de materiais leves e odores à cidade, como conseqüência do regime de ventos. Cabe ressaltar, que a área em que é disposto o resíduo foi escolhida pelo IAP, que a julgou como a melhor alternativa, em detrimento de outras duas.

Na área de disposição de Barra do Jacaré não foram construídos canais de drenagem. A água de chuva incidente sobre a área abre canais de drenagem naturais que erodem as coberturas das valas como pode ser observado na Figura 4.21. Esta situação por vezes acarreta no carreamento de material, seja solo ou resíduo, para os corpos hídricos próximos além de criar vias facilitadoras do transporte de contaminantes, o que aumenta a fragilidade ambiental da área.

FIGURA 4.21 – CANAIS DE DRENAGEM NATURAIS



O procedimento de encerramento das valas de disposição dos RSU implica exclusivamente na cobertura com camada de argila. A espessura desta camada é aleatória, tomando-se apenas o cuidado para que os resíduos não fiquem expostos, como pode ser observado na Figura 4.22.

FIGURA 4.22 – VALA DE DISPOSIÇÃO SELADA COM ARGILA



4.2.2.2 Impactos na Biota

Devido às proporções do município, Barra do Jacaré não possui grandes problemas em relação à proliferação de vetores, embora existam principalmente moscas e mosquitos nas imediações da área de disposição. Cuidados como cobertura diária dos resíduos diminuí bastante a proliferação destes vetores.

A barreira vegetal prevista em projeto não possui um funcionamento efetivo uma vez que é constituída de menos unidades vegetais que o desejável. Portanto, a cortina vegetal não está cumprindo sua função de minimizar impactos decorrentes da geração de odores e pelo lançamento de sacos plásticos, como pode ser observado na Figura 4.23. Os acessos são dificultados pela topografia e tornam-se impraticáveis em épocas de chuva, como informado pela Prefeitura.

FIGURA 4.23 – CORTINA VEGETAL E ACESSOS



4.2.2.3 Impactos Sócio-Econômico-Culturais

Os impactos sociais, econômicos e culturais são, talvez, os mais difíceis de serem identificados e quantificados. Estes, na maioria das vezes, possuem caráter indireto e abrangem grandes populações.

Por constituir-se um aterro de pequeno porte, os impactos sociais, econômicos e sociais são de pequenas proporções. Um dos aspectos que poderia ser considerado é o potencial de materiais recicláveis existente nos resíduos totais de Barra do Jacaré. Uma vez que já foram implantados e desativados o Programa de Coleta Seletiva e Educação Ambiental da população, fica fácil pô-los novamente em prática.

A reativação destes dois programas contribui para a geração de empregos e renda à parcela da população que mais necessita, ou seja, a parcela de mais baixa renda que geralmente fica encarregada de lidar com os resíduos urbanos.

Constituem-se aspectos de interesse ambiental, no caso específico do aterro municipal de Barra do Jacaré, os tópicos apresentados na Tabela 4.15:

TABELA 4.15 – RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE BARRA DO JACARÉ

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL CORRELATO	NATUREZA DO IMPACTO	CONDIÇÃO	SITUAÇÃO ATUAL	AÇÃO CORRETIVA
Destinação final dos resíduos do município	Saúde pública preservada, promoção de solução única	Positiva	Excelente	Atendimento de quase a totalidade da população de Barra do Jacaré	- x -
Localização aterro: prejuízo às populações vizinhas	Mal-cheiro, desprendimento de sacos plásticos	Negativa	Boa	Inexistência de moradores próximos ao aterro	Melhoramento das condições de cortina vegetal, através do plantio de mais árvores
	Trânsito de veículos transportadores de resíduos	Negativa	Regular	Estrada de anti-pó em más condições, com declividades acentuadas, dificultando o acesso ao aterro em dias de chuva	Melhoria das condições de acesso ao aterro
	Proliferação de vetores e doenças	Negativa	Boa	Ocorrência alguns vetores nas proximidades do aterro	Cobertura diária do aterro.
Infra-estrutura do aterro	Existência de cercas e limites definidos	Positiva	Excelente	Cercas e limites bem definidos e protegidos, porém o acesso não é restrito	Implantação de portão para controle de acesso
	Máquinas e equipamentos próprios disponíveis para operação do aterro	Positiva	Regular	Equipamentos em boas condições de operação embora não disponível diariamente por ter que atender a outras obras da prefeitura	Programação do uso diário dos equipamentos no aterro.
	Condições de manutenção, como podas e jardinagem, manutenção de cercas, etc.	Positiva	Regular	Valas de serviço de saúde encobertas pelo mato	Manter terreno limpo, inclusive com o corte periódico de matos

TABELA 4.2.2.1 – RESUMOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO ATERRO DE BARRA DO JACARÉ (Continuação)

Operação do aterro	Quantificação do resíduo que chega ao aterro	Positiva	Ruim	Não há estimativa de quanto resíduo é disposto	Realizar estimativa da quantidade de resíduo disposta
	Compactação do resíduo	Positiva	Ruim	Não há compactação dos resíduos	Implantar sistema de compactação, podendo-se utilizar o método de passagem de tambores
	Sistema de tratamento de chorume	Positiva	Ruim	Inexistente	Realizar impermeabilização de fundo com geomembranas para garantir confinamento dos resíduos
	Escavação das valas nos locais previstos em projeto	Positiva	Ruim	Valas escavadas sem observação das condições de projeto acarretando no baixo aproveitamento da área e diminuição de sua vida útil	Escavar as valas de acordo com o projeto
	Existência de poços de monitoramento e controle de solo e água subterrânea	Positiva	Ruim	Existe um único poço executado e não está em funcionamento	Implantação de poços de monitoramento e acompanhamento da qualidade da água retirado do poço da SANEPAR
Controle de emissão de gases	Existência de sistema drenante de gases	Positiva	Ruim	Inexistência de drenos nas valas	Implantação de drenos simples
	Aproveitamento dos gases gerados	Positiva	Ruim	Impossibilidade de aproveitamento dos gases pelas condições inadequadas de construção dos drenos	Reestruturação e adequação do sistema drenante de gases
Coleta Seletiva	Existência de Programa de Coleta Seletiva	Positiva	Boa	Programa de Coleta Seletiva implantado e abandonado	Reimplantação junto à comunidade de Programa de Coleta Seletiva
	Centro de Triagem junto ao aterro	Positiva	Regular	Triagem realizada no momento da descarga dos resíduos	Implantação junto a comunidade de Programa de Coleta Seletiva

Critérios: Excelente, Boa, Regular, Ruim

4.2.3 Ações Corretivas e Mitigadoras

Os principais impactos ambientais encontrados em Barra do Jacaré são decorrentes da má gestão e operação do aterro. Basicamente, deve-se seguir o que foi estipulado em projeto, tanto para localização e abertura de valas como o uso da boa técnica para promover a cobertura diária dos resíduos, manter a área do aterro roçada e limpa, entre outros.

No que concerne à dispersão de material leve, a imediata cobertura e o emprego de telas de proteção são dispositivos e técnicas operacionais que solucionam o problema. A dispersão de odores, no entanto, passa a ser um problema mais complexo. Basicamente são dois os elementos que geram odores desagradáveis – os percolados e os gases.

No tocante aos gases, a implantação de recobrimentos eficientes e sistemas de drenagem que permitem a recuperação dos mesmos deve ser incentivada, visto que esses últimos empregam em geral dispositivos de pressão negativa, fazendo com que sejam minimizados escapes de gases, aleatoriamente, ao longo do corpo do aterro.

No âmbito social, a reativação dos Programas de Coleta Seletiva e Educação Ambiental junto à comunidade podem contribuir para a geração de empregos e renda. Por meio de cooperativas a sociedade pode se organizar, com o auxílio dos gestores municipais, para promover o processamento e venda de materiais recicláveis.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O impacto ambiental provocado por áreas de disposição de resíduos é preocupante. A legislação, as normas técnicas e o desenvolvimento tecnológico atuais permitem a construção e operação de aterros sanitários de modo a não impactar substancialmente o meio ambiente. A concepção dos aterros sanitários é, de forma geral, realizada de modo satisfatório, a exemplo do ocorrido nos aterros de Jacarezinho e Barra do Jacaré. Entretanto, muitas vezes, aspectos de gestão e financeiros têm prevalecido sobre as técnicas mais adequadas.

O aterro municipal de Jacarezinho apresentou como impactos ambientais negativos mais significativos a suspeita de contaminação do aquífero local por chumbo, a ausência de impermeabilização de fundo e execução de canais de drenagem, a ausência de um plano de monitoramento de efluentes, a não execução de poços de monitoramento, a falta de cobertura diária dos resíduos com camada de terra, as más condições dos acessos ao aterro, a balança inoperante e a proliferação de vetores e a presença de catadores atuando diretamente sobre os resíduos. Considerando as características geológicas e pedológicas locais, estando o aterro de Jacarezinho em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, é importantíssima a eliminação de fontes potenciais de contaminação, como é o caso do aterro de Jacarezinho, pois o aquífero subterrâneo consiste em uma alternativa de abastecimento público para o continente sul-americano, sendo a preservação de sua qualidade ambiental fundamental.

A maioria dos impactos detectados em Jacarezinho apresenta soluções de fácil viabilização, pois os problemas identificados são decorrentes do descaso com a operação do aterro. Em relação aos impactos ambientais positivos do aterro de Jacarezinho, podem ser destacadas a abrangência da coleta pública de resíduos, a localização do aterro afastada do centro urbano, toda a infra-estrutura instalada, que deve ser mantida, e a disposição da nova administração pública em tomar as medidas cabíveis à melhoria das condições ambientais do aterro.

Por outro lado, a área de disposição de Barra do Jacaré apresentou como impactos ambientais negativos mais significativos, a ausência de impermeabilização de fundo e execução de canais de drenagem, a inexistência de poços de monitoramento, a falta de cobertura diária dos resíduos com camada de terra, a localização e as más condições dos acessos à área e a proliferação de vetores. A maioria dos impactos apresenta soluções de fácil viabilização, pois são decorrentes do descaso com a operação do aterro. No tocante aos impactos ambientais positivos destaca-se a grande parcela de população que é contemplada com a coleta pública de resíduos e a boa vontade da nova administração pública em tomar as medidas cabíveis à melhoria das condições ambientais do aterro.

Muito há para ser feito em relação à disposição dos resíduos sólidos urbanos. Os órgãos ambientais federais e estaduais têm papel fundamental neste processo de mudança, devendo antes de fiscalizar e autuar os responsáveis pelo aterro, prepará-los tecnicamente. Os aterros municipais padecem pela falta de recursos financeiros que, por vezes, têm destino outro considerado prioritário. Outro fator relativo aos problemas operacionais de aterros de resíduos sólidos urbanos é o despreparo técnico de gestores e administradores municipais. Há enormes quantidades de áreas de lixões a serem remediadas. Há outras tantas áreas chamadas erroneamente de aterros sanitários que, pelos problemas supracitados, causam impactos similares aos lixões, acarretando em impactos com proporções semelhantes.

Não existe, entretanto, maneira de se eliminar a geração de resíduos, por menor que seja a sua produção. Portanto, cabe ao cidadão, de uma forma geral, minimizar o impacto de suas atividades em busca do desenvolvimento sustentável. Há o conhecimento, a técnica e os recursos financeiros podem ser priorizados. Ao homem falta, entretanto, a visão de futuro, a visão de que o desenvolvimento sustentável é utopia e que os padrões de consumo do homem de hoje tolhe a longevidade do planeta que seus descendentes habitarão.

Em função das observações conseqüentes deste estudo, alguns outros trabalhos poderão ser realizados, não só com a finalidade de aprofundar o conhecimento das áreas de disposição de Jacarezinho e Barra do Jacaré, mas de uma forma mais geral,

com a implantação de rotinas de gerenciamento, levantamento de falhas de gestão e preparação técnica dos gestores.

Em relação ao município de Barra do Jacaré, um trabalho interessante de ser realizado refere-se à re-implantação do Programa de Coleta Seletiva da Prefeitura, pois este poderia viabilizar e avaliar aspectos relativos à aceitação por parte da população, ao efeito do programa na geração dos resíduos, à implantação de uma cooperativa para armazenamento, preparação e venda de recicláveis, alterações nos procedimentos operacionais do aterro, além de melhorias sociais. Um trabalho semelhante pode ser desenvolvido em Jacarezinho, embora não se trate de uma re-implantação e sim de uma implantação de Programa de Coleta Seletiva.

No tocante à biota, poderiam ser avaliados, no aterro de Jacarezinho, os efeitos da contaminação da flora que se desenvolve nas áreas de infiltração de efluente da estação de tratamento de chorume e os efeitos de bioacumulação de metais pesados e outros contaminantes em animais que se alimentam destas plantas. Outro estudo possível poderia estar relacionado ao aprofundamento dos conhecimentos relativos à eficiência de cortinas vegetais em aterros sanitários.

No que concerne à suspeita de contaminação do aquífero subterrâneo da área de disposição de Jacarezinho, utilizado para abastecimento da residência do vigia, recomenda-se que, enquanto não for realizado um estudo mais aprofundado sobre a qualidade da água subterrânea do poço, esta não deva ser utilizada para consumo humano. Este estudo consiste na implantação de poços de monitoramento no entorno do aterro e avaliação e controle periódicos da qualidade de água subterrânea extraída do poço.

Uma das abordagens possível de ser levada a efeito seria o desenvolvimento de um modelo matemático-computacional que descrevesse o fluxo do efluente tratado através do solo até o atingir o aquífero local. O desenvolvimento do modelo matemático poderia considerar o chorume gerado nas células, uma vez que não há impermeabilização de fundo nas valas. Para tanto, deve-se estudar em escala piloto os comportamentos e interações físico-químicas entre o chorume e o solo local, através

de ensaios laboratoriais. Só então podem ser ajustadas as equações de transporte para cada caso específico.

Com base nas remediações propostas por este estudo, outro trabalho de grande importância é a avaliação da eficiência de implantação, do tipo causa-efeito, de diferentes técnicas de remediação das áreas de estudo. Neste contexto enquadram-se técnicas de remediação de solo e água subterrânea, em que se pretende mitigar os danos causados até então e evitar danos futuros.

Na atualidade, busca-se adequar os aterros de disposição de resíduos para contribuírem na geração de energia, através da comercialização de créditos de carbono. Alguns estudos vêm sendo realizados no sentido de adaptar a captação de gases nos aterros para proporcionar a geração de energia. Um estudo no sentido de viabilizar esta alternativa para o aterro de Jacarezinho contribuiria para a qualidade ambiental global, além de gerar recursos financeiros para a própria manutenção do aterro sanitário.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K.; MATTA, V.; HUGGENBERGER, P.; JOHNSON, C. A. **A contaminated site investigation gained from geophysical measurements and hydrogeological modelling.** Journal of Contaminat Hydrology 40, 2000
- ABGE. **Ensaio de Permeabilidade em solos - Orientações para sua Execução** Coordenação Antônio Manoel dos Santos Oliveira e Diogo Correia Filho. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia- Boletim nº 04, 3ªed. São Paulo, 1996
- ACAR, Y. B.; HAIDER, L. **Transport of Low-Concentration Contaminants in Saturated Eathern Barriers.** Journal of Geotechnical Engineering. Vol.116, nº 7, Julho 1990.
- ALLEN, A. **Containment landfills: the myth of sustainability.** Engineering Geology 60, 2001
- ALMEIDA, M.C.F.; GERMANO, A.M.; DEOTTI, L.O.U.. **Estudos Numéricos da Migração de Contaminantes no solo.** IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Anais - texto completo. Porto Alegre, 2003
- AMINI, M.; AFYUNI, M.; FATHIANPOUB, N.; KHADEMIA, F.; FLUHLERC, H. **Continuous soil pollution mapping using fuzzy logic and spatial interpolation.** Geoderma 124. 2005
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 17th ed. Gaithersburg, 2000. v. 1 Capítulos: 02 p. 25-26; 04 p. 40-45; 09 p. 44-45; 11 p. 16-20, 44-45 v. 2 Capítulo 27 p. 20-21.
- APHA. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater,** 20 ed., Editora American Public Health Association.1998
- ASSMUTH, T. **Concentrations and Toxicological significance of trace organic compounds in municipal solid waste landfill gas.** Chemosphere 24, 1992.
- BARRETO, ANA BEATRIZ DA C. 1998 **Avaliação das condições hidrogeológicas e da contaminação do subsolo por HCH na Cidade dos Meninos, RJ .** Dissertação de mestrado submetida a PUC-Rio , Rio de Janeiro.
- BENDZ, D.; SINGH, V. P.; AKESSON, M. **Accumulation of water and generation of leachate in a young landfill.** Journal of Hydrology. 1997

BENVENUTO, C. **Resíduos sólidos em pequenas comunidades: aspectos construtivos e ambientais, vantagens e desvantagens.** Seminário sobre Resíduos Sólidos - RESID 2004. ABGE. São Paulo, 2004

BERRIOS, R. M. **O lixo domiciliar. A produção de resíduos sólidos residenciais em cidade de porte médio - O caso Rio Claro.** UNESP, 1986.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** Publicação EESC-USP São Carlos, SP.1999

BISORDI, M.; GONÇALVES, A. ; CAMARGO, M.; MILANO, F. **O processo de transformação de lixo em aterro sanitário.** Seminário sobre resíduos sólidos - RESID 2004. Anais. ABGE, São Paulo, 2004.

BOGNER, J.; SPOKAS, K. **Landfill CH₄: Rates, Fates and Role in Global Carbon Cycle.** Chemosphere 26, 1993.

BOU-ZEID, E.; EL-FADEL, M. **Parametric sensitivity analysis of leachate transport simulations at landfills.** Waste Management 24. 2004

BOZKURT, S.; SIFVERT, M.; MORENO,L.; NERETNIECKS,I. **The long-term evolution of and transport processes in a self-sustained final cover on waste deposits.** The Science of the Total Environment 271, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Legislação Ambiental.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em 12.11.2003

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Bacia do Rio Paranapanema.** Disponível em <http://www.transportes.gov.br/bit/hidro/detrioparanapanema.htm>. Acesso em 24.10.2004

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS 518/04.** Disponível em <http://portal.saude.gov.br>. Acesso em 10.10.2004

BREUKELLEN, B. M.; GRIFFIOEN, J. **Biogeochemical processes at the fringe of a landfill leachate pollution plume: potencial for dissolved organic carbon, Fe(II), Mn (II), NH₄ and CH₄ oxidation.** Journal of Contaminant Hydrology 73, 2004

BREUKELLEN, B.M.; GRIFFIOEN, J.; WILLFRED, R.; VERSEVELD, H. **Biogeochemistry of a landfill leachate plume.** Journal of Contaminant Hydrology vol. 65, 2003

BREUKELLEN, B.M.; GRIFFIOEN, J.; WILLFRED, R.; VERSEVELD, H. **Reactive transport modelling of biochemical processes and carbon isotope geochemistry inside a landfill leachate plume.** Journal of Contaminant Hidrology, 2004

BRUN, A. **Modeling of transport and biogeochemical process in pollution plumes: literature review and model development.** Journal of Hydrology 256, 2002(a).

BRUN, A. **Modeling of transport and biogeochemical process in pollution plumes: Vejen landfill, Denmark.** Journal of Hydrology 256, 2002(b).

CALACE, N.; MASSIMIANI, A.; PETRONIO, B.M.; PIETROLETTI, M. **Municipal landfill leachate-soil interaction: a kinetic approach.** Chemosphere 44, 2001.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdido no lixo.** 4. ed. São Paulo: Humanitas FFLCH/USP, 2003.

CAMPOS, JOÃO L. E. **Análise numérica do Transporte de contaminantes em meios porosos com reações químicas.** Tese de doutorado submetida a PUC-Rio, 1999

CAPLAN, A. J.; GRIJALVA, T.C.; JAKUS, P.M. **Waste not or want not. A contingent ranking analysis of curbside waste disposal options.** Ecological Economics 43, 2002

CASTILHOS JR., A.B.; LANGE, L.C.; GOMES, L.P.; PESSIN, N. (Org.). **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos para Pequenas Comunidades.** Rio de Janeiro, 2002

CASTILHOS JR., A.B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES (PROSAB), 2003.

CASTILLO, M.; BARCELÓ, D. **Characterisation of organic pollutants in textile wastewaters and landfill leachate by using toxicity-based fractionation methods followed by liquid and gas chromatography coupled to mass spectrometric detection.** Analytica Chimica Acta 426, 2001

CELLIGOI, A. **Estudo Hidrogeológico de uma área em indústria de reaproveitamento de chumbo no município de Marilândia do Sul, PR.** ABAS XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Anais. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Setembro, 2003.

CETESB, **Relatório de Estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo,** São Paulo. 2001

CHARNOCK, D.; WELLS, C. **The challenge of waste disposal.** Journal of the Royal Society of Health, v.105, n.5, p. 171-178, 1985.

CHEN, P.H. **Assesment of leachate from sanitary landfills: impact of age, rainfall and treatment.** Environment International vol. 22. 1996

CHEN, Y.; SHEN, Z.; LI, X. **The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals.** Applied Geochemistry 19. 2004

CINTRA, F.H.; HAMADA, J.; CASTILHO FILHO, G.S. **Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos.** VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2002

CLIFFORD K. H.; BILL W. A.; JOHN R. C.RANDAL Y.T.; MITCHELL A.P. **A probabilistic model and software tool for evaluating the long-term performance of landfill covers.** Environmental Modelling & Software 19, 2004

COELHO, H.M.G.; SIMÕES, G.F.; LANGE, L.C; FERREIRA, C.F.A.. **Estudo Preliminar da Contaminação por Metais Pesados na Área do Aterro de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Catas Altas, MG.** IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Anais - texto completo. Porto Alegre, 2003.

COELHO, H.M.G.; SIMÕES, G.F.; LANGE, L.C; FERREIRA, C.F.A..**Análise Numérica do Transporte de Metais Pesados em um aterro de disposição de resíduos sólidos urbanos.** XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal, 2004.

CORREA, A.C.S.; SOUZA, N.M.; CARVALHO, J.C. **Parâmetros de solos tropicais para definição de modelo de atenuação de contaminantes.** IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Anais - texto completo. Porto Alegre, 2003

COSTA, P.C. **Os resíduos da civilização.** Engenharia Sanitária, 1984

COSTA, W.D. **Risco de contaminação de água subterrânea: conceitos e prática.** ABAS XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.Anais. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Setembro, 2003.

CRITTENDEN, B. e KOLACZKOWSKI, S. **Waste Minimization – A Practical Guide.** Chem, 1995.

CRITTO, A.; CARLO, C.; MARCOMINI, A. **Characterization of contaminated soil an groundwater surrounding an illegal landfill (S. Giuliano, Venice, Italy) by principal component analysis and kriging.** Environmental Pollution 122, 2003.

CUNHA, R.C.A. **Análise de risco em áreas contaminadas por fontes indutriais desativadas: estudo de caso.** São Paulo, SP. 1997. 152p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997.

DE CAMPOS, T.M.P. **Avaliação da contaminação por BHC do solo e água subterrânea na Cidade dos Meninos – RJ.** Proposta do projeto de pesquisa submetido a FAPERJ pelo Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 1991.

DE JORGE, F.N. BAPTISTI, E.; GONÇALVES, A. **Monitoramento em Aterros Sanitários nas fases de encerramento e de recuperação: desempenhos mecânico e ambiental.** Seminário sobre Resíduos Sólidos - RESID 2004. ABGE. São Paulo, 2004.

DE MELO, V. L. A. **Estudos de referência para diagnóstico ambiental em aterros de resíduos sólidos.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES,2002

DENISON, R.; SILBERGELD, E. **Risk of municipal solid waste incineration na environmental perspective.** Risk Analysis. v. 8, n.3, p.343-355, 1988.

DI MARIA, F. **Sanitary landfill energetic potential analysis: a real case study.** Energy Conversion and Management 44, 2003.

EL-FADEL, M. ; BOU-ZEID,E. ; CHANINE, W. **Long Term simulations of leachate and transport from solid waste disposal at a former quarry site.** Journal of solid waste Technology and Management, vol. 28 Maio 2002.

EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boletim Técnico N° 57.1984

EMERSON, C. **Measuring toxic emissions from landfills using sequential screening. Computer.** Environment and Urban Systems 27, 2003.

FADEL, M. **Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content.** Waste Management 22, 2002.

FETTER, C.W. **Contaminant Hidrology.** Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1992.

FRANCISS, F. O. **Hidráulica de meios permeáveis: escoamento em meios porosos.** Rio de Janeiro. Ed. Da Universidade de São Paulo, 1980.

FRANCO, M.A.R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável.** Annablume: FAPESP.2ªed. São Paulo. 2001

FRASCARI, D.; BRONZINI, F.; GIORDANO, G.; TEDIOLI, G. **Long-term characterization lagoon treatment and migration potencial of landfill leachate: a case study in an active Italian field.** Chemosphere, 2003.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. Ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J, 1979

GAIESKI, A. A. **A disposição final do Lixo no Município de Curitiba: uma Proposta Metodológica**. Monografia entregue ao Departamento de Geografia da UFPR, 1989.

GARCIA I.; DORRONSORO C. **Contaminación del suelo**. Curso: Tecnologia de Suelos. Tema 15. Disponível em: <http://edafologia.ugr.es/conta/Tema15>. Acesso em: 04/01/2002.

GOMES, J. A. **Licenciamento Ambiental - Normas Vigentes e Critérios para Instalação, Operação e Monitoramento de Aterros sanitários**. Seminário sobre Resíduos Sólidos - RESID 2004. ABGE. São Paulo, 2004.

GONULLU, M.T. **Analytical modelling of inorganic contaminants in leachate**. Waste Management & Research 12. 1994

HAJARNAVIS, M.R. ; BHIDE, A.D. **Mathematical model of leachate transportation at fly ash dumping site**. Journal of solid waste Technology and Management, vol. 27 Maio 2001.

HAMADA, J.; GIACHETI, H.L.; VAGNER, R.E.; IWAI, C.K. **Análise crítica dos sistemas de monitoramento de efluentes líquidos de aterros para resíduos sólidos**. XVIII Congresso Interamericano AIDIS. Cancun. 2002(a)

HAMADA, J.; CASTILHO FILHO, G.S.; FARIA, S.; CINTRA, F.H. **Aplicabilidade de processos físico e físico-químico no tratamento de chorume de aterros sanitários**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2002(b)

HIRATA, R. **Contaminação de Solo e Água Subterrânea: Caracterização, Monitoramento e Remediação**. Apostila do Curso de Extensão Universitária. PUC-PR. Curitiba, 2004.

HO, C.; ARNOLD, B; COCHRAN, J; TAIRA, R. **A probabilistic model and software tool for evaluating the long-term performance of landfill covers**. Environmental Modelling & Software 19. 2004

HOGAN, J.; BLUM, J.D. **Boron and Lithium isotopes as groundwater tracers: a study at the fresh kills landfill, State Island, New York, USA**. Applied Geochemistry 18, 2003

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PNSB - Pesquisa Nacional do Saneamento Básico, 2000**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 11.11.2004

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Manual de gerenciamento integrado**. São Paulo, 1998.

ISLAM J.; SINGHAL N. **A laboratory study of landfill leachate transport in soils**. Water Research 38, 2004 (B)

ISLAM J.; SINGHAL N. **A one dimensional reactive multi-component landfill leachate transport model**. Environmental Modelling & Software 17, 2002

JAIN, P.; KIM, H.; TOWNSEND, T. G. **Heavy metal content in soil reclaimed from a municipal solid waste landfill**. Waste Management. 2004

JONSSON, S. **Transformation of phthatales in young landfill cells**. Waste management 23, 2003.

JUCÁ, J.F.T. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil - Situação e Perspectivas**. 10º SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga, Portugal. 2002.

JUCÁ, J.F.T; MELO, V.L.A.; BELTRÃO, K.G.; PAES, R.F.C. **Sistema de Tratamento de Chorume proposto para o Aterro da Muribeca, Pernambuco - Brasil**. Relatório Técnico. Disponível em <http://www.ufpe.br/grs>. Acesso em 14/01/2005. UFPE, 2002.

JUCÁ, J.F.T. **Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. Porto Alegre, 2003.

JUCÁ, J.F.T. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil - Situação e Perspectivas**. RESID - Seminário sobre resíduos sólidos. ABGE. São Paulo, 2004.

KRÜGER, M. M. **Diagnóstico de áreas contaminadas por hidrocarbonetos – Exemplo de uma área urbana em Curitiba**. Dissertação de mestrado UFPR, 2002.

KUMAR, S. **Potential of soil and groundwater contamination due to mine subsidence under a landfill**. Journal of Soil Contamination 8, 1999

LANGE, L.C., SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A.; COELHO, H.M.G. . **Estudo da Geoquímica de Metais Pesados em um aterro de disposição de Resíduos Sólidos Urbanos**. 4º Congresso Regional de Engenharia Sanitária e Ambiental da 4ª Região da AIDIS/Cone Sul. Anais. Curitiba, 2002

LANGE, L.C., SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A.; COELHO, H.M.G. . **Estudo do Transporte de Contaminantes em Meios Porosos Aplicado a Aterros de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos** In: CASTILHOS JR., A.B.; LANGE, L.C.; GOMES, L.P.; PESSIN, N. (Org.). Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos para Pequenas Comunidades. Rio de Janeiro, 2002

LEE, J. H.; OHB, M.H.; PARK, J. **Dielectric dispersion characteristics of sand contaminated by heavy metal, landfill leachate and BTEX (02-104B)**. Journal of Hazardous Materials B105. 2003

LIMA, M. J. **Prospecção geotécnica do subsolo, Rio de Janeiro**. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.

LINS, E.A.M. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, UFPR. Recife, 2003

LOOSER, M. O. PARRIAUX, A. BENSIMON, M. **Landfill underground pollution detection and characterization using inorganic traces**. Water Research 33, 1999.

LOPES, W.S.; LEITE, V. D. ; PRASAD, S. **Avaliação dos Impactos Ambientais Causados por lixões: Um estudo de caso**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2003

LOPEZ, A.; PAGANO, M. VOLPE, A. DI PINTO, A.C. **Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate**. Chemosphere 54. 2004

LUDVIGSEN, L.; ALBRECHTSEN, H.; HOLST, H.; CHRISTENSEN, T.H. **Correlating phospholipid fatty acids (PLFA) in a landfill leachate polluted aquifer with biogeochemical factors by multivariate statistical method**. FEMS Microbiology Reviews 20, 1997.

MACAMBIRA, I.Q., PIEDADE JR, C.R.C.; VILAR, O. M. **Estudo do potencial de alguns solos para o usos como barreiras impermeabilizantes de aterros sanitários**. XII COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2002

MACHADO, W ;MOSCATELLI, M.; REZENDE, L.G.; LACERDA,L.D. **Mercury, Zinc and Copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in Southeast Brazil**. Environmental Pollution 120, 2002.

MAGOSSI, L.; BONACELLA, P. **Poluição das águas**. Editora Moderna. 2.ed. São Paulo, 1991.

MARQUES, A.C.M.; VILAR, O.M. **Avaliação dos Efeitos da Compactação na Geração de Líquidos Percolados em Aterros Sanitários**. IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Anais - texto completo. Porto Alegre, 2003.

MATIAS, M. A ; SILVA, M.M.; FERREIRA, P. ; RAMALHO, E. **Geophysical and hydrogeological study of aquifers contamination by a landfill**. Journal of Applied Geophysics 32, 1994.

MATO, R.R.A.M. **Environmental implication involving the establishment of sanitary landfills in five municipalities in Tanzania: the case of Tanga municipality**. Resources, Conservation and Recycling 25, 1999.

MELO, V.L. ; JUCÁ, F. T. **Estudos Geotécnicos e Ambientais para avaliação do comportamento de aterros de resíduos sólidos urbanos**. XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2002

MERCIER, G.; DUCHESNE,J.; GIBERGUES, A.C.; **A simple and fast screening test to detect soils polluted by lead**. Environmental Pollution 118, 2002.

MILLER, C.J.; LEE, J. **Response of landfill clay liners to extend periods of freezing**. Engineering Geology 51, 1999.

MINEROPAR, Minerais do Paraná S/A. **Geologia do Estado do Paraná**. Secretaria do Estado da Indústria e do Comércio. Governo do Estado do Paraná.1986

MINEROPAR, Minerais do Paraná S/A. **Projeto Serviços Geológicos e Riquezas Minerais - Avaliação do Potencial Mineral e Consultoria Técnica no Município de Jacarezinho**. Relatório Final. Curitiba, 2003

MONTEIRO, J. H. P. **Manual Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos**, SEDU - Secretaria Especial do Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, 2001

MUÑOZ, S.I. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de metais pesados**. Tese de Doutorado. Ribeirão Preto. USP, 2002.

NAHAS, C. M. **Aterros sanitários - Técnicas construtivas e Métodos operacionais. Seminário sobre resíduos sólidos - RESID 2004**. Anais.ABGE. São Paulo, 2004

NANNY, M.A. **Characterization an comparison of hydrophobic neutral and hydrophobic acid dissolved organic carbon isolated from three municipal landfill leachates**. Water Research 36, 2002

OBLADEN, N. L. **Aterro Sanitário para Resíduos Sólidos Urbanos**. Programa de Treinamento Novas Tendências Profissionais. FEAPAR. Apostila. Curitiba, 2004

OGATA, A & BANKS, R.B. **A Solution of the Differential Equation of Longitudinal Dispersion in Porous Media**. U.S: Geol. Surv. Prof. Paper 411-A, 1961 (apud Nobre, 1987).

OLIVEIRA, S. **Geologia de Engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Base de dados de 1992 e 2003**. Disponível em <http://www.onu.org>. Acesso em 24.10.2004. 2004

ORLANDO, L. **Georadar as a tool to identify and characterize solid waste dumps deposits**. Journal of Applied Geophysics 48, 2001.

PAES, R.F.C. **Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca-PE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campo Grande. 2003

PARANÁ. **Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA**. Projeto do Aterro Sanitário de Jacarezinho – PR. Curitiba, 1998.

PARANÁ. **Política de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná**. Programa Desperdício Zero, Agosto 2003.

PAULIPETRO. **Projeto Paulipetro - Geologia do Bloco SF-22-W-48**. Relatório Final. Consórcio CESP/IPT. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. São Paulo, 1980.

PAVELKA, C. LOEHR, R.C.; HAIKOLA, B. **Hazardous waste landfill leachate characteristics**. Waste Management 13, 1993.

RAMOS, S.I.P. **Sistematização Técnico-Organizacional de Programas de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba, 2004.

READ, A.; HUDGINS, M.; HARPER, S.; MORRIS, J.; **The successful demonstration of aerobic landfilling. The potencial for a more sustainable solid waste management approach**. Resources, Conservation and Recycling 32, 2001.

REITZEL, L. **Determination of phenols in landfill leachate-contaminated groundwater by solid phase extraction**. Journal of Chromatography 972, 2002.

RIBEIRO, A. **Direct determination of chlorophenols in landfill leachates by solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry.** Journal of Chromatography 975, 2002.

RIEDIKER, **Benzene and Naphthalenesulfonates in leachates and plumes of landfills.** Water Research 34, 2000.

RIVETT, M. O. **Remediation of contaminated land and groundwater: Experience in England and Wales.** Journal of Environmental Management 65, 2002.

ROMERO, E.G.; BARRIOS, M.S. **Las arcillas: Propiedades y Usos.** Universidad Complutense. Madrid. Acesso em 20/02/2005. Disponível em: <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Arcillas.htm#inicio>

ROSQVIST, H.; DESTOUNI, G. **Solute transport through preferential pathways in municipal solid waste.** Journal of Contaminant Hydrology 46, 2000.

RUMBOLD, D.G.; MIHALIK, M.B. **Biomonitoring environmental contaminants near a municipal solid-waste combustor: a decade later.** Environmental Pollution 117, 2002.

SANEPAR Companhia de Saneamento do Paraná. Disponível em <http://www.sanepar.com.br/> acesso em 25/10/2004

SANTOS, M.M.; CELLIGOI, A. **Avaliação hidrogeológica nas adjacências do antigo lixão de Rolândia, PR** ABAS XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Anais. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Setembro, 2003.

SCHIANETZ, B **Passivos ambientais: levantamento histórico: avaliação da periculosidade: ações de recuperação.** SENAI. Curitiba, 1999

SCHNOOR, J. **Environmental Modeling.** Wiley Interscience, 1996.

SCHWARZBAUER, J. **Occurrence and alteration of organic contaminants in seepage and leakage water from a waste deposit landfill.** Water Research 36, 2002.

SERRA, V.; GROSSI, M.; PIMENTEL, V. **Lixão, aterro controlado e aterro sanitário.** Departamento de Química e Bioquímica. UNESP. Botucatu. S.P., Brasil. Disponível em: www.laser.com.br/IBB/lixo/aterro/html . Acesso em: 22/10/98.1998.

SHARMA, H.D.; LEWIS, P. L. **Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills. Design and Evaluation.** Wiley-Interscience Publication. 1ª Ed. Nova Iorque, EUA. 1994

SIMÕES, F. S. **Modelo para avaliação de recalques em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos.** Tese de doutorado. PUC-Rio. 2002

SISINNO, C. L. S., **Estudo Preliminar da Contaminação Ambiental em Área de Influência do Aterro Controlado do Morro do Céu (Niterói - RJ).** Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.1995

STRUGALE, M., ROSTIROLLA, S.P., MANCINI, F. PORTELA FILHO, C.V.. **Compartimentação Estrutural das Formações Pirambóia e Botucatu na Região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências. Volume 34, 2004.

TATSI, A.A.; ZOUBOU LIS, A.I. **A field investigation of the quantity of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece)** Advances in Environmental Research 6, 2002.

TEIXEIRA, R.S.; FERNANDES, F. **Critérios geotécnicos para seleção de áreas aptas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos - metodologia aplicada ao caso de Londrina.** IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Anais - texto completo. Porto Alegre, 2003

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

THOMÉ, A.;MELO, E.; SCHNEIDER, I.A.; CORONETTI, L. **Aterro Invernadinha - Antiga Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos de Passo Fundo, RS.** IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Anais - texto completo. Porto Alegre, 2003.

VAZOLLER, R.F.; GOMES, L.P.; BALDOCHI,V.M.Z. **Biodegradability potencial of two experimental landfills in Brazil.** Brazilian Journal of MicroBiology 32, 2001

VISSER, W.J.F. **Contaminated land policies in some industrialized countries.** 2 ed. The Hague: Technical Soil Protection Committee, 1994. 149p.

WHITE, J.; ROBINSON, J.; REN Q. **Modelling de biological degradation of solid waste in landfills.** Waste Management 24, 2004.

YAQOUT, A. F. **Assessment and analysis of industrial liquid waste and sludge disposal at lined landfill sites in arid climate.** Waste Management, 2003.

YEDLA, S. **Development of a purpose built landfill system for the control of methane emissions from a municipal solid waste.** Waste Management 22, 2002.

YKEGUCHI, T. **Progress in sanitary landfill technology and regulations in Japan: a Review.** Waste Management & Research 12, 1994.

YONG, R.N. **Geoenvironmental engineering contaminated soils, pollutant fate and mitigation.** 1° Ed. CRC Press.2000

YONG, R.N.; YAACOB, W.Z.W.; BENTLEY, S.P.; HARRIS, C. TAN, B.K. **Partioning of heavy metals on soil samples from column tests.** Engineering Geology 60, 2001.

ZACHAROF, A.I.; BUTLER A.P. **Stochastic modelling of landfill leachate and biogas production incorporating waste heterogeneity and data uncertainly.** Waste Management 24, 2004

ZACHAROF, A.I.; BUTLER A.P. **Stochastic modelling of landfill leachate and biogas production incorporating waste heterogeneity. Part1. Model formulation and uncertainly analysis.** Waste Management 24, 2004

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. **Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná.** Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. Vol.1 441-447. Curitiba, 1987

ZHAN, H. **Transport of waste leakage in stratified formations.** Adances in Water Resources Vol. 22, 1998.

ANEXOS

ANEXO I

PROJETO DO ATERRO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO DE JACAREZINHO

ANEXO II

BOLETINS DE SONDAGEM DA ÁREA DO ATERRO DE JACAREZINHO

Solotécnica Engenharia De Obras Ltda

Projeto do Aterro Sanitário de Jacarezinho – PR

FONTE: PARANÁ (1998)

Descrição do Ponto: SP1			
Cota : + 47,49		Data: 01.10.98	
Diâmetro: 2 1/2"		Nível e Água (N.A.): não encontrado	
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	0		0,00 - 0,85m - Argila arenosa com raízes
	1		0,85 - 0,90m - Fragmentos de rocha
	2		0,90m - impenetrável pela sonda de percussão
	3		
	4		
	5		
	6		

Descrição do Ponto: SP1A			
Cota : + 47,10		Data: 01.10.98	
Diâmetro: 2 1/2"		Nível e Água (N.A.): não encontrado	
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	0		0,00 - 0,50m - Argila arenosa com raízes
	1		1,00m - Cascalho
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		

Descrição do Ponto: SP2			
Cota : + 37,29		Data: 01.10.98	
Diâmetro: 2 1/2"		Nível e Água (N.A.): não encontrado	
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	0		0,00 - 0,40m - Argila arenosa com raízes
	1		0,40m - impenetrável pela sonda de percussão
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		

Descrição do Ponto: SP2A			
Cota : + 37,43		Data: 01.10.98	
Diâmetro: 2 1/2"		Nível e Água (N.A.): não encontrado	
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	0		0,00 - 0,30m - Argila arenosa com raízes
	1		0,30 - 0,90m - Argila arenosa com fragmentos de rocha.
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		0,90m - impenetrável pela sonda de percussão

Descrição do Ponto: SP3			
Cota : + 15,61		Data: 01.10.98	
Diâmetro: 2 1/2"		Nível e Água (N.A.): não encontrado	
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
9	13		0,00 - 0,90m - Argila arenosa com raízes
			0,90 - 1,71m - Argila arenosa, com pedras soltas, rija, marrom e amarela
			1,71m - impenetrável pela sonda de percussão
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		

Descrição do Ponto: SP4			
Cota : + 11,95		Data: 01.10.98	
Diâmetro: 2 1/2"		Nível e Água (N.A.): não encontrado	
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
7	8		0,00 - 1,30m - Argila arenosa com raízes
10	12		1,30 - 6,45m - Argila siltosa, média, vermelha
12	14		6,45m - limite programado da sondagem
12	14		
11	11		
10	11		

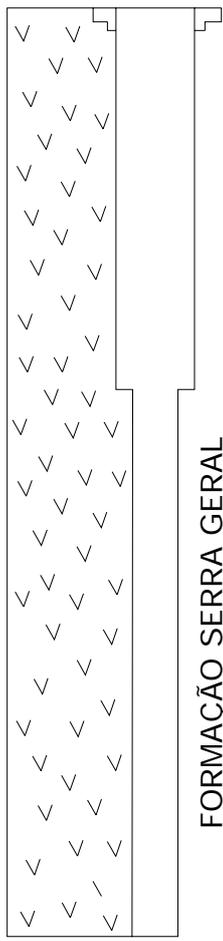
Descrição do Ponto: SP4A			
Cota :		+ 1,38	Data: 01.10.98
Diâmetro:		2 1/2"	Nível e Água (N.A.): não encontrado
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	0		0,00 - 0,80m - Argila arenosa com raízes
2/33	2		0,80 - 2,00m - Argila arenosa, muito mole, vermelha
	1		
2	3		2,00 - 6,45m - Argila arenosa, média, vermelha
	2		
3	3		6,45m - limite programado da sondagem
	3		
4	4		
	4		
3	3		
	5		
5	7		
	6		

Descrição do Ponto: SP5			
Cota :		+ 0,81	Data: 01.10.98
Diâmetro:		2 1/2"	Nível e Água (N.A.): não encontrado
Nº GOLPES	PROF (m)	N.A.	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	0		0,00 - 1,60m - Argila arenosa, muito mole, vermelha com raízes
2/48	--		1,60 - 4,00m - Argila arenosa, muito mole, vermelha
	1		
2/33	2		4,00 - 5,00m - Argila arenosa, mole, vermelha
	2		
2	2		5,00 - 6,45m - Argila arenosa, muito mole, vermelha
	3		
3	4		6,45m - limite programado da sondagem
	4		
3	2		
	5		
3	5		
	6		

ANEXO III

**BOLETIM DE SONDAGEM DO POÇO DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE BARRA DO JACARÉ**

BOLETIM DE SONDAEM DO POÇO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE BARRA DO JACARÉ

MUNICÍPIO: BARRA DO JACARÉ			
POÇO: N° 2			
VAZÃO PREVISTA: 28,000 m ³ /h			
ND = 56,45m			
NE = 13,20m			
PERFIL CONSTRUTIVO	PROF. (m)	LITOLOGIA	
 <p>FORMAÇÃO SERRA GERAL</p>	PROF (m)		
	0	000-003	Solo siltico argiloso, bem estruturado, proveniente da decomposição do basalto. Castanho-avermelhado. Pouca matéria orgânica.
	10	003-009	Basalto cinza médio com fragmentos de cor castanha dada pela alteração de cristais do basalto. Amostragem laminar fina a média. Alterado e fraturado moderadamente.
	20	009-014	Basalto cinza médio a claro com poucas pontuações avermelhadas dadas pela decomposição dos minerais. Ocorre também calcita. Amostragem granular média. Fraturado e pouco alterado.
	30		
	40		
	50	014-016	Basalto cinza com fragmentos de rocha alterada de cor castanho-avermelhada. Amostragem laminar média. Fraturado e pouco alterado.
	60		
	70		
	80	016-018	Basalto cinza médio com muitas pontuações castanho avermelhadas dadas por minerais alterados. Amostragem granular fina. Moderadamente alterado e pouco fraturado.
	90		
	100	018-024	Basalto cinza médio com poucos fragmentos de rocha alterada (fragmentos de cor castanha). Amostragem granular de média a grosseira. Moderadamente fraturado e pouco alterado. Ocorre calcita.
	110		
	120		
	130	024-027	Basalto cinza com poucas pontuações brancas de quartzo e calcita, e avermelhadas de minerais alterados. Amostragem granular de fina a média. Pouco fraturado e pouco alterado.
	140		
	150		
	160	027-030	Basalto cinza médio com poucos fragmentos alterados de cor castanha. Amostragem laminar de média a fina. Fraturado e pouco alterado
	170		
	180	030-033	Basalto cinza média a claro. Amostragem granular fina a média. Moderadamente fraturado e pouco alterado.
190	033-034	Basalto cinza médio. Amostragem granular média. Fraturado e pouco alterado.	
200	038-040	Basalto cinza avermelhado. A coloração avermelhada é dada pela alteração. Amostragem granular fina a pulverulenta. Moderadamente fraturado e algo alterado.	
	040-042	Basalto cinza médio a claro. Amostragem granular fina a média. Pouco alterado a moderadamente fraturado.	
	042-048	Basalto cinza médio com pontuações brancas de calcita. Amostragem granular fina. Pouco alterado e pouco fraturado.	
	048-050	Basalto cinza médio com pontuações brancas dadas por grãos de quartzo. Amostragem granular fina a pulverulenta.. Pouco alterado e muito pouco fraturado.	

BOLETIM DE SONDAÇÃO DO POÇO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE BARRA DO JACARÉ
(Continuação)

050-052	Basalto cinza médio e claro com cristais de calcita. Amostragem granular a laminar média a fina. Fraturado e pouco alterado.
052-055	Basalto cinza médio com pontuações brancas de quartzo. Amostragem granular de fina a média. Algo fraturado e pouco alterado.
055-060	Basalto cinza médio com pontuações brancas de calcita e quartzo. Amostragem granular fina a média. Algo fraturado e pouco alterado.
060-068	Basalto cinza médio avermelhado. Amostragem granular fina. Moderadamente alterado e pouco fraturado.
068-069	Basalto cinza médio avermelhado. Amostragem pulverulenta. Inalterado e compacto.
069-070	Basalto cinza médio com pontuações brancas de quartzo. Amostragem pulverulenta a granular muito fina. Muito pouco alterado e muito pouco fraturado.
070-071	Basalto cinza claro. Amostragem pulverulenta. Inalterado e compacto.
071-073	Basalto cinza médio. Amostragem pulverulenta. Muito pouco alterado e compacto.
073-075	Basalto cinza médio. Amostragem pulverulenta a granular muito fina. Pouco alterado e compacto. Apresenta tons avermelhados.
075-077	Basalto cinza médio. Amostragem laminar fina. Pouco alterado e algo fraturado.
077-080	Basalto cinza médio avermelhado. Amostragem pulverulenta e granular muito fina. Moderadamente fraturado e pouco alterado.
080-081	Basalto cinza com pontuações castanho escuras de minerais alterados. Amostragem granular fina. Alterado e pouco fraturado.
081-083	Basalto cinza médio. Amostragem pulverulenta. Algo alterado compacto.
083-092	Basalto cinza médio com tonalidade castanha dada pela alteração. Amostragem laminar fina a pulverulenta. Pouco alterado e algo fraturado.
092-094	Basalto cinza. Amostragem laminar fina a média. Pouco alterado e algo fraturado. Textura fanerítica fina.
094-097	Basalto cinza médio com tonalidade castanha dada pela alteração. Amostragem laminar fina a pulverulenta. Pouco algo fraturado.
097-099	Basalto cinza médio. Amostragem pulverulenta. Algo alterado. Compacto.
099-101	Basalto cinza médio. Amostragem pulverulenta a granular fina. Compacto e muito pouco alterado.
101-103	Basalto cinza. Amostragem laminar fina a média. Pouco alterado e algo fraturado. Textura fanerítica fina.

BOLETIM DE SONDAAGEM DO POÇO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE BARRA DO JACARÉ
(Continuação)

103-107	Basalto cinza médio com fragmentos esbranquiçados de rocha alterada. Amostragem granular média a grosseira. Moderadamente alterado e bastante fraturado. Textura fanerítica fina.
107-110	Basalto cinza médio com pontuações brancas zeólitas (poucas). Amostragem granular média a fina. Bem fraturado e pouco alterado. Textura fanerítica fina.
110-115	Basalto cinza médio com tonalidade castanha dada por alteração. Amostragem laminar fina a pulverulenta. Pouco alterado e algo fraturado.
115-120	Basalto cinza médio. Amostragem pulverulenta a laminar fina. Pouco alterado. Compacto.
120-126	Basalto cinza com pontuações brancas zeólitas. Amostragem laminar de fina a média. Moderadamente fraturado e pouco alterado.
126-131	Basalto cinza médio a claro. Amostragem granular média a grosseira. Moderadamente alterado e bem fraturado.
131-134	Basalto cinza com pontuações brancas de zeólitas. Amostragem granular fina a média. Algo alterado e moderadamente fraturado.
134-137	Basalto cinza médio. Amostragem granular fina. Pouco alterado e pouco fraturado. Ocorrem cristais de zeólita. A amostragem contém alguma areia misturada.
137-140	Basalto cinza com tonalidade castanha dada pela alteração. Amostragem granular fina a média. Moderadamente alterado e moderadamente fraturado. Ocorre zeólita.
140-145	Basalto cinza médio com pontuações brancas de cristais de zeólita. Amostragem laminar fina a média. Algo alterado e algo fraturado.
145-150	Basalto cinza médio com pontuações brancas de zeólitas (poucas). Amostragem granular média a fina. Bem fraturado e pouco alterado. Textura fanerítica fina.
150-153	Basalto cinza médio com pontuações brancas dadas por quartzo e zeólitas. Amostragem granular fina. Algo alterado e pouco fraturado.
153-163	Basalto de coloração avermelhada a roxa. Apresenta cristais brancos de zeólitas. Amostragem laminar fina a média. Moderadamente alterado e moderadamente fraturado. Textura fanerítica fina.
163-165	Basalto cinza. Amostragem granular fina. Pouco alterado e pouco fraturado. Textura fanerítica fina.
165-167	Basalto cinza claro. Amostragem laminar média a grosseira. Algo alterado e bem fraturado.
168-170	Basalto cinza médio. Amostragem laminar média a grosseira. Pouco alterado e bem fraturado. Textura fanerítica fina.
170-176	Basalto cinza. Amostragem laminar fina a média. Ocorrem poucos cristais de zeólita. Muito pouco alterado e moderadamente fraturado.

BOLETIM DE SONDAÇÃO DO POÇO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DE BARRA DO JACARÉ
(Continuação)

	176-180	Basalto cinza médio com pontuações brancas dadas por zeólitas. Amostragem granular fina. Algo alterado e pouco fraturado.
	180-182	Mistura de um basalto cinza acastanhado (cor de alteração), amostragem granular média a fina, moderadamente fraturado e moderadamente alterado, com um arenito fino, branco, bem selecionado e bem arredondado.
	182-185	Arenito branco, fino, bem selecionado e bem arredondado. Cimentação por CaCO_3
	185-191	Arenito claro, levemente róseo, bem arredondado, bem selecionado, sem matriz e pouco CaCO_3 .
	191-193	Mistura do mesmo arenito descrito acima com basalto cinza arroxado, amostragem laminar média, algo alterado e bem fraturado.
	193-202	Arenito claro, levemente róseo, bem arredondado, bem selecionado, sem matriz e pouco CaCO_3 .

FONTE: SANEPAR, 2004