

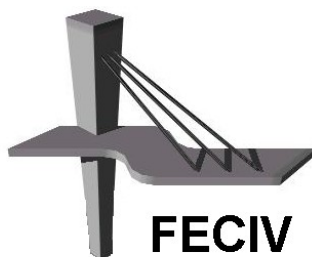
Dissertação de Mestrado

024

**DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NUMA
VOÇOROCA E SEUS IMPACTOS SOBRE AS
ÁGUAS: UM ESTUDO DE CASO EM
UBERLÂNDIA/MG**

LEONARDO ROCHA

Uberlândia, agosto de 2006



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



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO ROCHA

**DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NUMA VOÇOROCA E
SEUS IMPACTOS SOBRE AS ÁGUAS: UM ESTUDO DE CASO
EM UBERLÂNDIA/MG**

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

Área de concentração: Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

Uberlândia, agosto de 2006.

A Deus, o criador do enigma da vida, a minha querida mãe pelo carinho, incentivo e apoio nos momentos alegres e difíceis desta jornada, ao meu pai (*in memoriam*) agradeço pela vida, e a minha querida irmã pelo carinho e amizade de toda essa vida.

“O que ocorrer com a terra, recairá sobre os filhos da Terra. Há uma ligação em tudo”.

Chefe Seattle, 1854.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, incentivaram e contribuíram para que eu alcançasse mais uma etapa do crescimento profissional e humano.

Ao professor Dr. Luiz Nishiyama agradeço não só pela orientação, mas também pela amizade e ensinamentos de que devemos respeitar a natureza como parte fundamental da vida em nosso planeta e, ainda, por ser um profissional ético e aliado na preservação ambiental.

Um agradecimento muito especial às professoras Maria Elisa Resende e Ana Luiza, e ao professor Iridauque, pelas valiosíssimas orientações e sugestões, obrigado. Ao professor Carlos Aberto Faria, quero agradecer pela amizade, apoio e incentivo nos momentos mais difíceis, obrigado.

Aos técnicos e secretárias da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV). Um agradecimento especial à Sueli Maria, pelo empenho, dedicação e amizade em todos os momentos em que necessitei. Aos técnicos do Laboratório de Geotecnia, Romes e Veloso, pelos ensinamentos e amizade. E um agradecimento especial ao tio e às tias da “limpeza”, que contribuíram para a preservação de um ambiente limpo e gostoso para se trabalhar.

Aos Professores e às Professoras, técnicos e secretárias do Instituto de Geografia (IG-UFU), Lúcia, Janete, Mismar, Ângela, Rosangela, Eleuza, Malaquíás (Mala) pelos anos de incentivo, apoio e amizade.

Aos meus colegas e amigos de dentro e fora da Universidade, quero compartilhar deste momento maravilhoso e agradecer pelo companheirismo e incentivo na conclusão desta nova etapa de minha vida.

À Prefeitura Municipal de Uberlândia pela disponibilidade de materiais para a pesquisa e empenho de muitos de seus servidores, em especial à Edna Golveia e à Maria do Rosário, servidoras empenhadas e dedicadas em suas profissões.

À Fazenda Douradinho, pelo apoio de materiais e de funcionários durante a realização dos trabalhos de campo da pesquisa realizados na área da propriedade.

À Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, por ter realizado as análises químicas necessárias à pesquisa.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que proporcionaram uma oportunidade única em minha vida, da qual tenho e devo retribuir os conhecimentos adquiridos voltados à sociedade, especialmente as camadas da sociedade que mais necessitam.

À CAPES, agradeço pelo apoio financeiro, que foi de fundamental importância no desenvolvimento e conclusão dessa pesquisa.

RESUMO

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NUMA VOÇOROCA E SEUS IMPACTOS SOBRE AS ÁGUAS: UM ESTUDO DE CASO EM UBERLÂNDIA/MG

No período compreendido entre 1989 e 1993 a Prefeitura Municipal de Uberlândia dispôs todos os resíduos sólidos gerados no município em duas grandes voçorocas localizadas na sua zona rural, especificamente, na localidade denominada Fazenda Douradinho. No mesmo ano do encerramento das atividades, as áreas utilizadas para esta finalidade foram transformadas em aterro controlado. Porém, desde o início das disposições no local, nenhum estudo relativo as conseqüências sobre o meio ambiente foi realizado. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo geral avaliar as conseqüências do aterro controlado na qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Para se alcançar tais objetivos foram realizados levantamentos da literatura, de relatórios técnicos e de materiais cartográficos. Os trabalhos de campo possibilitaram a realização de ensaios geotécnicos *in situ*, construção de poços para monitoramento de água freática, coletas de amostras de solo e águas (superficial e subterrânea). As amostras de solo, coletadas em um talude natural da erosão e na cobertura do aterro controlado, foram ensaiadas no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da UFU com o objetivo de caracterizar e determinar suas propriedades geotécnicas. As amostras das águas superficial e subterrânea foram analisadas no Laboratório de Análises Químicas do Instituto de Química da UFU com vistas a determinação quantitativa de parâmetros que poderiam indicar a sua contaminação. A análise dos resultados de ensaios geotécnicos permite afirmar que o solo empregado para a cobertura final do aterro apresenta elevada permeabilidade, condição que vem favorecendo a percolação de grande quantidade de água e, conseqüentemente maior geração de chorume. Resultados de análises físico-químicas evidenciam que as águas superficial e subterrânea apresentam contaminação. Com base na análise dos resultados de trabalhos de campo e de laboratório apresenta-se uma proposta de medidas para a reabilitação da área, para isto, adotaram-se procedimentos e técnicas já consagradas na literatura.

Palavras-chave: Aterro controlado; resíduos sólidos urbanos; impactos ambientais; poluição.

ABSTRACT

THE DUMPING OF SOLID WASTES IN A RAVINE WITH ADVANCED EROSION LEVELS AND THE EFFECTS OF THIS DUMPING ON THE ADJACENT WATER SUPPLY: CASE STUDY PERFORMED IN UBERLÂNDIA-MG

Between 1989 and 1993 the City Hall of Uberlândia disposed all of the solid wastes generated by the municipal district, into two large ravines with advanced levels of erosion. These two ravines are located within the municipality's own agricultural zone, specifically, in an area known as "Douradinho Farm." On the same year that the City Hall came to a decision to halt the dumping of solid wastes into these ravines, they also determined that these two specific locations would become a landfill. However, ever since these ravines were transformed into a landfill, no one has ever researched how the landfill is affecting the neighbouring environment. Taking this statement into consideration, the broad objective of this case study is to evaluate the landfill's consequences on the quality of the adjacent superficial and subterranean water supply. In order to achieve this objective, an extensive bibliographical review was undertaken, comprising of technical reports, cartographical materials, as well as information from other bibliographical sources pertaining to this subject matter. Furthermore, a meticulous field study enabled the carrying out of onsite geological tests, the construction of wells to monitor ground water, and the gathering of soil and water (superficial and subterranean) samples. The soil samples were collected from two sites: an onsite slope created naturally by erosion and at the top layer of the landfill. These soil samples were examined at the Geotechnical Laboratory of the College of Civil Engineering of the Federal University of Uberlândia (UFU), with the objective of ascertaining their geotechnical characteristics. Conversely, the superficial and subterranean water samples were analysed at the Chemical Analysis Laboratory of the Chemistry Department of UFU, in order to determine whether the water is contaminated or not. The test results obtained from the Geotechnical Lab clearly point out that the soil used to cover the landfill, has a high permeability, condition which allows precipitation to infiltrate and consequently produce the seepage of leachate. Therefore, it is not startling that the test results of the water samples indicate that, both the superficial water and the groundwater are contaminated. Nonetheless, the case study recommends a rehabilitation project, based on well-established landfill rehabilitation procedures, which, if executed correctly, could recover the area surrounding the landfill.

Keywords: Landfill, solid urban wastes, environmental impacts, pollution.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

ABGE:	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AS:	Volume de água absorvida pelos resíduos
C:	Carbono
Cd:	Cádmio
CEMPRE:	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB:	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNEM:	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CO ₂ :	Dióxido de Carbono
CONAMA:	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM:	Conselho Estadual de Política Ambiental
COT:	Carbono orgânico total
Cr:	Cromo
CTC:	Capacidade de Troca Catiônica
Cu:	Coeficiente de condutividade de meios não saturados
DBO:	Demanda bioquímica de oxigênio
DN:	Deliberação Normativa
DQO:	Demanda química de oxigênio
EIA:	Estudo de Impactos Ambiental
EMBRAPA:	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET :	Volume perdido por evapotranspiração
FEAM:	Fundação Estadual do Meio Ambiente
G.P.S:	Global Positioning System
h:	Altura
H ₂ S :	Gás sulfídrico
IBAM:	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBAMA:	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT:	Instituto de Pesquisa Tecnológica
K:	Coeficiente de permeabilidade
LV:	Volume que passa pela base do aterro
N.A:	Nível de água subterrânea
N:	Nitrogênio
NH ₃ :	Nitrogênio Amoniacal
O ₂ :	Oxigênio
OD:	Oxigênio dissolvido
P:	Precipitação
Pb:	Chumbo
PEAD:	Polietileno de Alta Densidade
pH:	Potencial hidrogênionico
PMU:	Prefeitura Municipal de Uberlândia
PVC:	Polivinil Cloroetano
Q:	Vazão infiltrada
R.P.M:	Rotações por minuto
r:	Raio
R:	Volume perdido pelo escoamento superficial
RAFA:	Reator aeróbio de fluxo acendente
RIMA:	Relatório de Impacto Ambiental
RS:	Resíduo sólido
RSS:	Resíduos de Serviço de Saúde
RSU:	Resíduos Sólidos Urbanos
SMSU:	Secretaria de serviços Urbanos
Ton:	Tonelada
UFU:	Universidade Federal de Uberlândia

LISTA DE FIGURAS

2.1: Aspectos gerais do lixão de Mossoró-RN, onde se observa a presença de animais domésticos junto a catadores em meio ao lixo	32
2.2: Esquema de um lixão a céu aberto	33
2.3: Representação esquemática ideal de operação de um aterro sanitário	35
2.4: Aterro sanitário de Caximba, Curitiba-PR	35
2.5: Esquema de tanques de lodos ativados	46
2.10: Esquema de lagoas de aeração	47
2.11: Esquema geral de um aterro e seus respectivos pontos de monitoramento	83
2.12: Abertura de valas para instalação de drenos de gases e percolados	85
2.13: Dreno de gás em perfil	85
2.14: Lagoa de recirculação das células	86
2.15: Lagoa facultativa	89
2.16: Voçoroca localizada na área onde foram dispostos os resíduos sólidos urbanos .	89
2.17: Voçoroca sendo entulhada gradualmente com lixo	89
2.18: Formas de disposição do lixo na área	90
2.19: Desagregação do solo pela energia das gotas de chuva (<i>splash</i>)	91
2.20: Sulcos (ravinas) formados pelo escoamento superficial de água no solo	91
2.21: Processo erosivo acelerado (voçoroca), comum na bacia do córrego dos Macacos	91
2.22: Conformação da célula do aterro com o emprego de trator de esteira	92
2.23: Trincheiras abertas para implantação dos drenos de gases e chorume, tipo espinha de peixe	96
2.24: Dreno para gases instalados na área	96
2.25: Vista da construção do barramento com a utilização de pneus	97
2.26: Construção de barramento em uma outra seção da voçoroca	97
2.27: Trabalho de retaludamento da porção inferior da voçoroca	97
2.28: Aspectos gerais da área após a conclusão do projeto de remediação	97
2.29 Mudas de Eucalipto plantadas no período, com a finalidade de constituir a cortina verde	98

2.30: Construção das caixas destinadas ao tratamento biológico do percolado	99
2.31: Finalização da construção das caixas de tratamento biológico	99
2.32: Reaparecimento do lixo em decorrência da erosão nas células do aterro	100
2.33: Lixo exposto em uma das porções das células	100
2.34: Acúmulo de água em uma das células, constituindo pequenas lagoas temporárias	101
2.35: Aspecto atual das caixas de tratamento biológico	102
2.36: Situação das caixas de tratamento biológico	102
2.37: Desprendimento periódico dos taludes próximo as canaletas	102
2.38: Indícios da presença de gado no fundo da calha do aterro	103
2.39 Afloramento de água em decorrência da saturação do solo e camadas resistentes à percolação da mesma	104
2.40: Indícios de reação química e liberação de gases provenientes da decomposição de lixo	104
3.41: Fluxograma das atividades desenvolvidas	106
3.42: O esquema demonstra a localização dos poços de coleta de água em relação à célula do aterro	110
3.43: Perfil esquemático demonstrando a localização dos poços de monitoramento na célula do aterro	110
3.44: Perfuração do solo com equipamento mecânico	111
3.45: Trado tipo hélice utilizado na perfuração manual	111
3.46: Revestimento dos tubos de PVC com <i>Bidim</i>	112
3.47: Introdução do tubo de PVC no solo revestido pela manta <i>Bidim</i>	112
3.48: Poço para coleta de água	112
3.49: Esquema de montagem dos poços de monitoramento	114
3.50: Coletor de água	115
3.52: Coleta de amostra de água do Poço 1 – a montante do aterro	116
3.53: Coleta de amostra de água do Poço. 3 – a jusante do aterro	116
3.54: Coleta de amostra de água do córrego a montante do aterro	116
3.55: Coleta de amostra de água do córrego a jusante do aterro	119
3.56: Ensaio de permeabilidade realizado em furo de trado, em execução	121
3.57: Perfil da voçoroca instalada na base do aterro, onde se extraiu as amostras de solo indeformada	124
4.58: Localização de Uberlândia no Triângulo Mineiro (MG)	125

4.59: Foto aérea de 1979 da porção da bacia onde foram lançados os resíduos sólidos urbanos do município nos anos de 1989 a 1993	126
4.60: Localização da Bacia hidrográfica do córrego dos Macacos no município de Uberlândia	132
5.61: CARTA IMAGEM : ATERRO CONTROLADO	133
5.62: Metodologia aplicada em recuperação de voçorocas	157

LISTA DE GRAFICOS

2.1: Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil	13
2.2: Situação dos municípios brasileiros	13
2.3: Composição dos resíduos sólidos no Brasil	15
2.4: Composição do lixo em algumas cidades e capitais brasileiras (%).....	18

LISTA DE QUADROS

2.1 – Principais fatores que influenciam a composição dos resíduos sólidos	17
2.3 - Classificação dos resíduos de serviços de saúde	25
2.4 – Características Físicas dos Resíduos Sólidos Urbanos	27
2.5 – Principais características químicas dos resíduos sólidos (RSU)	28
2.6 – Principais vetores atraídos pelo lixo	30
2.7 - Fatores que influenciam a geração de lixiviados em aterros sanitários	38
2.8 – Composição do chorume com diferentes idades	41
2.9 – Quadro geral de Monitoramento (Remediação)	99
4.10 – Dados de Precipitação e Temperatura do Município de Uberlândia – MG	121
5.11 – Classificação dos solos coletados no perfil da voçoroca	135
5.12 – Classificação granulométrica dos solos coletados nas células do aterro	136
5.13 – Resultado dos coeficientes de permeabilidade (K) obtido nos cinco pontos amostrados	138
5.14 – Avaliação dos parâmetros analisados no Córrego na estação chuvosa	142
5.15 – Avaliação dos parâmetros analisados no Córrego na estação seca	143
5.16 – Avaliação dos parâmetros analisados nos Poços de monitoramento – estação seca	144
5.17 – Avaliação dos parâmetros analisados nos Poços de monitoramento - estação chuvosa	145

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
1.1 – Objetivos	03
1.2 – Justificativa	04
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	08
2.1 – Resíduos sólidos no meio urbano	08
2.1.2 – Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos	14
2.1.3 – Definição, Classificação e Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	18
2.1.3.1 – Definição	18
2.1.3.2 – Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente	19
2.1.3.3 – Classificação quanto à natureza ou origem	20
2.1.4 – Caracterização físico-química e biológica do lixo	24
2.1.5 – Características Físicas	24
2.1.6 – Características Químicas	24
2.1.7 – Características Biológicas	26
2.2 – Aspectos epidemiológicos do lixo	27
2.2 – Formas de disposição e tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos	28
2.2.1 – Lixões ou vazadouros	29
2.2.2 – Aterro controlado	30
2.2.3 – Aterro sanitário	31
2.3 – Percolado de aterros sanitários (chorume): geração e composição	33
2.3.1 – Técnicas utilizadas para o Tratamento de Percolados (Chorume)	38
2.3.2 – Fatores relevantes no dimensionamento do tratamento de chorume	39
2.3.3 – Metodologias de tratamento de chorume	41
2.3.3.1 – Tratamento Biológico	41
A – Lodos ativados	42
B – Lagoas aeradas	43
C – Lagoas de estabilização	44

D – Reator ou Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)	47
3.3.3.2 – Recirculação do chorume	50
3.3.4 – Tratamento físico-químico	51
2.4 – Legislação ambiental referente aos resíduos sólidos	53
2.6 – Água: sua importância e mecanismos de contaminação	57
2.4.1 – Padrões de qualidade para águas naturais e limites para o lançamento	61
2.4.1.1 – Dureza	65
2.4.1.2 – Alcalinidade	65
2.4.1.3 – Sólidos	66
2.4.1.4 – Potencial Hidrogeniônico (pH)	66
2.4.1.5 – Oxigênio Dissolvido (OD)	67
2.4.1.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	67
2.4.1.7 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)	68
2.4.1.8 – Nitrogênio na forma de Nitrato	68
2.4.1.9 – Nitrogênio na forma de Nitrito	69
2.4.1.10 – Nitrogênio Amoniacal (NH ₃)	69
2.4.1.11 – Fósforo total	69
2.4.1.12 – Fenóis	70
2.4.1.13 – Cloretos	70
A – Cádmio (Cd)	71
B – Chumbo (Pb)	71
C – Cromo (Cr)	72
2.5 – Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos.....	73
2.5.1 – Transformação de lixão em aterro sanitário	73
2.5.2 Problemas Sanitários	74
2.5.3 – Problemas ambientais	75
2.5.4 – Elaboração de projetos de adequação	75
2.5.5 – Dificuldades operacionais	74
2.6 – Remediação e fechamento de lixões: ações mitigadoras	80
2.7 - Projeto de remediação do “lixão” e sua configuração atual	82
2.7.1 – Controle dos processos erosivos	88
2.7.2 – Paisagismo	90

2.7.3 – Tratamento dos efluentes	91
2.7.4 – Monitoramento Ambiental	91
2.8 – Situação atual da área pesquisada	92
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	97
3.1 – Levantamento de informações e pesquisas bibliográficas	97
3.2 – Elaboração da base cartográfica	97
3.3 – Delimitação da área do aterro	99
3.4 – Reconhecimento e definição de pontos de avaliação.....	100
3.5 – Atividades de campo: coleta d'água	100
3.6 – Coleta de água para análise físico-químicas e parâmetros adotados	104
3.7 – Caracterização geotécnica do solo	108
3.7.1 – Procedimentos para determinação do coeficiente de permeabilidade <i>in situ</i>	108
3.7.2 – Cálculo para determinação do Coeficiente de Permeabilidade (k)	111
3.7.3 – Amostragem de solo	111
3.7.4 – Ensaio laboratoriais	112
CAPÍTULO 4 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO Córrego dos Macacos	113
4.1 – Localização e acesso	113
4.2 – Aspectos físicos do município de Uberlândia	116
4.2.1 – Clima.....	116
4.2.2 – Geomorfologia	117
4.2.3 – Solos	118
4.2.4 – Geologia	120
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	122
5.1 – Carta imagem (delimitação da área)	122
5.2 – Ensaio geotécnicos realizados em campo e laboratório	124
5.2.1 – Ensaio granulométricos	124
5.2.2 – Ensaio para obtenção do coeficiente de permeabilidade (K)	127
5.3 – Resultado das análises de água	129
5.2.2 – Período seco x chuvoso: amostras da água	130
CAPÍTULO 6 – PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA	141
6.1 – Isolamento da área	141
6.2 – Processos erosivos	142
6.3 – Drenagem pluvial	144

6.4 – Tratamento biológico de efluentes e águas subterrâneas	145
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O atual padrão de desenvolvimento da humanidade se caracteriza pela extensa exploração dos recursos naturais do planeta, pela geração maciça de resíduos sólidos como, também, pela constante emissão de gases nocivos para a atmosfera. Verifica-se, na realidade, um abismo cada vez maior entre o desenvolvimento tecnológico e a sustentabilidade ambiental, na medida em que quanto mais rápido é o crescimento econômico de um país, maiores são os problemas relativos ao esgotamento dos recursos naturais e da geração de resíduos sólidos.

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) vêm provocando inúmeros impactos ambientais e sociais, tornando-se reflexo das atividades diárias da sociedade humana e os principais fatores que regem a sua dinâmica relacionam-se diretamente a duas situações específicas: o aumento populacional e a intensidade da industrialização. Observando o comportamento destes fatores ao longo do tempo, verifica-se a existência de fortes interações entre eles. Por exemplo, o aumento populacional exige maiores incrementos na produção de alimentos e bens de consumo. A tentativa de atender a esta demanda faz com que o homem transforme cada vez mais matérias-primas (recursos naturais) em produtos industrializados, visando suprir essa crescente demanda, gerando, assim, maiores quantidades de resíduos que, por sua vez, dispostos inadequadamente no solo, nos corpos d'água e nos mais variados ambientes, comprometem a qualidade ambiental (LIMA, 1995).

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos, assim como do esgoto, são dois dos principais problemas urbanos e ambientais não resolvidos no Brasil e na maior parte dos países em desenvolvimento e, ainda, em grandes segmentos dos países desenvolvidos. No Brasil inúmeros municípios vêm apresentando sérios problemas ambientais relacionados à disposição indiscriminada dos resíduos sólidos, tais como: contaminação

as águas superficiais e subsuperficiais, contaminação do solo, do ar e, conseqüentemente, de espécies animais e, ainda, do próprio homem (ZULAUF, 1986).

No município de Uberlândia-MG, o histórico da destinação dos RSU não se difere muito do restante do país. Entre os anos de 1989 e 1993, a administração pública deste município dispôs todo o lixo produzido na cidade e em seus distritos no interior de voçorocas¹ localizadas na zona rural, especificamente na bacia hidrográfica do córrego dos Macacos, a sudoeste do município, cuja área abrangia cerca de 15 mil metros quadrados, tendo atingido sua capacidade máxima já no quinto ano de operação (CLEPS Jr., 1993).

Em princípio, tais áreas teriam sido selecionadas pelo poder público visando solucionar dois problemas: primeiro, por se localizar a uma distância de 23 Km do centro urbano, inibindo, desse modo, a ação de catadores; segundo, para tentar recuperar as áreas atingidas por erosões lineares profundas (voçorocas). Além disso, havia outra motivação para a escolha da área – o baixo custo do aluguel da área, em função de seu estado de degradação. Pesou na decisão, também, a concepção do poder público, de acordo com a qual se estaria beneficiando o proprietário da fazenda com a pretensão de recuperar as áreas atingidas pelas erosões, uma vez que as voçorocas seriam preenchidas pelo lixo e depois seladas com uma cobertura de solo.

Um dos pontos críticos observados nessa área refere-se ao material utilizado para a cobertura do lixo ser extraído do próprio local; isso possibilitaria o surgimento de novos processos erosivos, uma vez que o solo do local apresenta uma alta susceptibilidade erosiva em função de suas propriedades geotécnicas. Essa prática poderia agravar mais os impactos ambientais relacionados aos processos erosivos. Outro agravante seria a forma como o lixo era compactado, pois critérios técnicos não foram levados em conta. Com isso, o chorume represado no fundo da voçoroca não permitia a acomodação do material, proporcionando movimento de massa (recalque) posterior ao seu fechamento.

¹ A grande maioria das voçorocas é resultante do desequilíbrio ocasionado pela ocupação humana que promove de início a retirada da vegetação. Desta forma, o escoamento superficial das águas pluviais, não encontrando a proteção proporcionada pela vegetação, arrasta as partículas do solo vertente abaixo, em um segundo momento cria-se canais preferenciais onde se formam as chamadas ravinas, que vão se aprofundando até atingir o lençol freático. Assim, o lençol freático desprotegido da camada superior de solo fica totalmente susceptível a contaminação (GUERRA, 1994).

Essa acomodação também poderia estar relacionada à decomposição dos materiais orgânicos que, em estado de decomposição, deixam ou criam espaços vazios. Supondo que a voçoroca tivesse atingido seu nível de base (ou estar próximo disso) antes de seu preenchimento pelos resíduos, e como se tratava de uma área com solos arenosos, o escoamento superficial ocorreria geralmente sobre os horizontes de menor permeabilidade e maior resistência ao cisalhamento. Assim, inevitavelmente ocorreria a contaminação das águas superficiais e subsuperficiais pela percolação do chorume (LIMA et al, 2002)

Em 1995, em função da área ser imprópria ao lançamento dos resíduos, a administração municipal decidiu pela paralisação da disposição dos resíduos na área. O processo de desativação foi acelerado em função da instalação de procedimento administrativo averiguatório, por parte da procuradoria do meio ambiente, que alegava a existência de contaminação das águas do córrego dos Macacos, existente à jusante da área onde se localizava a voçoroca utilizada para a deposição dos resíduos.

Em face de todos esses agravantes ambientais, em 1999 foi realizada uma intervenção na área, objetivando a remediação dos impactos ambientais em curso no local do antigo lixão, para minimizar os impactos ambientais negativos gerados pela disposição do lixo.

Todavia, em 2001, uma comissão instituída pela Secretaria de Ciências e Tecnologia da Prefeitura Municipal de Uberlândia, em visita técnica ao antigo lixão, constatou que, mesmo depois das intervenções de caráter corretivo, realizadas em 1999, não houve recuperação substancial dos impactos observados na área (LIMA et al., 2002).

1.1 – Objetivo Geral

Avaliar a extensão dos impactos ambientais causados nos recursos hídricos em uma das nascentes do córrego dos Macacos em decorrência da disposição dos resíduos sólidos urbanos depositados na área da bacia do Córrego dos Macacos.

Específicos :

- delimitar a área onde ocorreu a deposição do lixo;
- analisar a qualidade da água superficial e subterrânea na área delimitada;
- caracterizar geotecnicamente os solos da área onde ocorreu a deposição dos resíduos sólidos para orientar as possíveis medidas de recuperação;
- analisar as condições geológicas/geotécnicas da área;
- avaliar os trabalhos de remediação da área onde ocorreu a deposição dos resíduos;
- propor medidas de recuperação e monitoramento dos impactos ambientais observados em curso na área do antigo “lixão”.

Desta forma, pretende-se contribuir com a avaliação atual da situação em que a área se encontra, instigando o poder público (alertando-o) sobre os impactos que estão sendo gerados na área em decorrência da inexistência de monitoramento ambiental deste empreendimento. Pretende-se, então, propor medidas que visem à recuperação da área, buscando alternativas economicamente viáveis.

1.2 – Justificativa

Segundo Munõz (2002), os resíduos sólidos são considerados a expressão mais visível e concreta dos riscos ambientais, ocupando um importante papel na estrutura de saneamento de uma comunidade urbana e, conseqüentemente, nos aspectos relacionados à saúde pública.

Munõz (2002) assevera, igualmente, que a problemática da disposição dos RSU, envolvendo todas as suas etapas, é uma das questões mais preocupantes para os administradores municipais em função dos impactos ambientais gerados no meio ambiente e por sua periculosidade, definida pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como

sendo a característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou
- b) risco ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

A maioria das cidades brasileiras não dispõe de sistemas adequados de disposição final de resíduos sólidos, sendo os mesmos lançados a céu aberto nos chamados “lixões”, o que provoca, na maioria das vezes, danos ambientais nos mais variados ecossistemas, (MENDONÇA, 2000).

O lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, dessa forma o lixo trás inúmeros impactos ambientais, tais como a contaminação do solo, do ar, das águas superficiais e subsuperficiais, além da contaminação de espécies animais e ainda o próprio homem (NBR 10.004, 2004).

Mesmo diante de toda essa problemática sócio-ambiental em torno da disposição indiscriminada dos RSU, no município de Uberlândia-MG os “lixões” foram utilizados como forma de disposição final até meados da década de 1990, geralmente em áreas degradadas pelos processos erosivos, conforme mencionado anteriormente, o que agravou ainda mais a situação ambiental destas áreas, principalmente em função da proximidade destas áreas com mananciais hídricos.

Como a produção de lixo acompanhava o crescimento populacional da cidade, as áreas utilizadas para a disposição dos RSU se esgotavam rapidamente, o que exigia a escolha de novas áreas. Dessa forma, várias áreas na zona rural podem ter sido contaminadas pela disposição indiscriminada dos resíduos no solo (MENDONÇA, 2000).

A última área destinada à deposição final dos resíduos domiciliares de Uberlândia localiza-se na zona rural, a sudoeste do município, especificamente em uma das

nascentes do Córrego dos Macacos, que se localiza próximo à estrada vicinal que liga o município de Uberlândia ao distrito de Miraporanga.

Conforme observa Lima et al. (2002), em agosto de 1995 a Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU) decidiu encerrar o lançamento dos resíduos sólidos no local, uma vez que a área vinha apresentando indícios de contaminação dos mananciais hídricos daquele local.

Posteriormente, em 1999, em virtude dos impactos ambientais e sérios riscos à saúde humana que a área vinha apresentando, foi elaborado e executado o “projeto de remediação do lixão”, que a princípio teria como objetivo minimizar ou mesmo interromper todas as formas de impactos ambientais negativos em curso na área. O projeto contemplou procedimentos técnicos de engenharia como:

- terraplanagem;
- conformação das células onde o lixo fora acondicionado de forma inadequada;
- instalação de drenos de gases e chorume, bem como canaletas de drenagem de águas pluviais;
- instalação de sistema de tratamento biológico dos efluentes líquidos (chorume) e ao final do projeto plantio de gramíneas sobre as células do aterro, contemplando dessa forma o projeto de remediação da área.

No entanto, após seis anos da conclusão do projeto, os impactos ambientais persistem e são visíveis na forma de erosão acelerada dos taludes da voçoroca e das células onde o lixo encontra-se confinado, contribuindo para o ressurgimento do lixo e assoreamento do canal fluvial localizado a jusante do aterro. A contaminação dos recursos hídricos também é perceptível, uma vez que o material originado pela decomposição do lixo – o chorume – percola na base do aterro e escoar livremente em direção a uma das nascentes do córrego dos Macacos, que se localiza na base do aterro, percorrendo aproximadamente 300 m até desaguar no canal principal do referido córrego. A

contaminação da água subterrânea não deve ser descartada, uma vez que grande parte das voçorocas localizadas nesta bacia atinge o NA a uma profundidade relativamente pequena, cerca de 13 m de profundidade, o que as torna susceptíveis à contaminação.

Na área do aterro é possível observar que alguns dos drenos de gases instalados na área estão preenchidos com água e o restante aparentemente está sendo liberado diretamente na atmosfera, sem nenhum tipo de tratamento; os gases resultantes da decomposição do lixo podem ser comprovados pelo forte mau cheiro perceptível no local.

Em face da problemática descrita, esse estudo se justifica pela necessidade de avaliar a extensão dos impactos ambientais gerados no local e, sobretudo, nos recursos hídricos locais, buscando-se propor medidas de recuperação da referida área frente aos impactos negativos avaliados no decorrer da pesquisa.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Resíduos sólidos no meio urbano

A problemática dos resíduos sólidos tem acompanhado o histórico do homem durante milhares de anos e tem se agravado à medida que o homem passou a se organizar em comunidades fixas. Durante a Idade Média, período que se estende do século XI ao XVI, as cidades eram densamente povoadas, escuras e sem nenhum planejamento, apenas as ruas mais largas eram pavimentadas, as demais eram sujas, lamacentas, cheias de excrementos de animais e humanos; o lixo e os detritos eram jogados nos arredores das casas causando diversos problemas de saúde relacionados à falta de saneamento (COTRIM, 1997).

Dois séculos após o declínio deste período, as cidades sofreram diretamente as consequências do rápido crescimento populacional, impulsionado pela Revolução Industrial do século XIX, e sofreram, em nível de estruturação de seu espaço interno, transformações substanciais que agravaram o estado vivido pelas comunidades medievais. O estado não mais elaborava planos de caráter organizacional para o espaço urbano, nem os regulava de maneira a coibir o crescimento desordenado, muito menos fiscalizava as formas pelas quais as cidades vinham sendo produzidas pela iniciativa privada.

Segundo Sposito (1989), a falta de acompanhamento do poder público junto à especulação imobiliária contribuiu para que, progressivamente, as cidades se tornassem um amontoado de pessoas que, não tendo onde morar devido à falta de acesso a loteamentos, aglomeravam-se em pequenos terrenos, formando cortiços ao redor das fábricas, um dos principais fatores da migração campo/cidade. As ruas eram estreitas,

principalmente no centro, e insuficiente para a circulação das pessoas, dos veículos tracionados por animais, para o escoamento do esgoto que corria a céu aberto, criação de animais, e ainda local para brincadeira de crianças. As cidades, para muitos, era sem dúvida um caos, desprovidas de estrutura que proporcionassem um bem-estar mínimo, principalmente para os trabalhadores fabris que se viam obrigados a morar em lugares insalubres.

A ausência de saneamento básico e de condições mínimas de higiene frente à disposição do lixo próximo às habitações contribuiu, sobretudo, para que se desencadeasse, em quase toda a Europa, uma epidemia infecto-contagiosa generalizada, culminando na morte de milhões de pessoas. Um exemplo clássico destas epidemias foi a peste bubônica ou “peste negra”, disseminada por ratos atraídos pelas quantidades imensas de lixo que se amontoavam próximo às casas. A peste negra resultou na morte de cerca de um terço da população europeia naquele período (PAZZINATO; SENIZE, 1995).

A revolução industrial, ao mesmo tempo em que apresentava um abismo relacionado às condições sanitárias e ambientais, proporcionou também a melhoria das condições de vida (econômica e sanitária) aumentando a expectativa de vida. O processo de urbanização e o ritmo de crescimento da população foram os principais determinantes para que, nos últimos 200 anos, a humanidade haja consumido mais recursos naturais e energia, produzindo mais poluição que nos dois milhões de anos anteriores (NASCIMENTO, 2001):

A variedade e a quantidade de resíduos, que passaram a ser gerado com o avanço tecnológico, trouxeram cada vez mais preocupação quanto aos problemas de higiene e saúde pública, além da preocupação quanto à escolha de locais para a disposição final adequada, processo de tratamento de resíduos, redução do lixo entre outros (PAULELLA et al., 1996, apud DAMASCENO, 2005, p. 45).

Os resíduos sólidos no meio urbano, por serem inesgotáveis devido a inúmeros fatores, tais como o crescimento populacional e econômico, transformaram-se em sérios problemas para os gestores responsáveis pela limpeza e saúde pública, bem como da gestão ambiental, pois, diariamente, milhões de toneladas de lixo de diversas origens e natureza são descartados no meio ambiente, necessitando de uma destinação correta e

segura, que minimizem os impactos inerentes a sua presença e decomposição. Durante décadas, os RSU foram descartados no meio ambiente sem nenhuma preocupação ambiental ou mesmo com a saúde pública; e os principais argumentos comumente utilizados pelos administradores públicos eram, sem dúvida, a escassez de recursos técnicos e, principalmente, financeiros que limitavam a disposição dos resíduos no solo de forma inadequada, nos chamados “lixões” (LIMA, 1995).

Infelizmente, esta problemática persiste em inúmeros municípios brasileiros que, justificando-se da falta de recursos financeiros, ainda lançam seus resíduos no solo de forma indiscriminada, provocando perdas significativas da qualidade ambiental e de vida de inúmeras comunidades, contribuindo com mais gastos públicos, a exemplo do tratamento de saúde relacionado direta e indiretamente a doenças veiculadas pela deposição indiscriminada de lixo.

Zulauf (1985, s/p.), enfatiza que “[...] a destinação final do lixo, assim como o do esgoto são os dois principais problemas urbanos e ambientais não resolvidos, no Brasil e na maior parte dos países do terceiro mundo [...]”.

O crescimento populacional, aliado ao consumo em massa de grande parte da população, vem preocupando cada vez mais os gestores públicos e os órgãos relacionados ao meio ambiente em decorrência de inúmeros impactos que o lixo pode provocar, tanto à saúde pública quanto ao meio ambiente, quando gerenciado de forma inadequada.

Diante de toda a preocupação a respeito do crescimento populacional e, conseqüentemente, do consumo de matérias-primas e da geração de resíduos, em meados da década de 1960 começaram a surgir grupos de pessoas e pesquisadores preocupados com a encruzilhada em que estava a humanidade em decorrência das altas taxas de crescimento demográfico, que faziam predizer que a população mundial duplicaria em 40 a 50 anos e, por conseguinte, a demanda de recursos naturais e a produção de poluição cresceriam proporcionalmente (NASCIMENTO, 2001).

O crescente aumento da geração dos RSU e a falta de uma visão ambientalmente sustentável no estabelecimento de políticas e tecnologias de produção, do uso de

matérias primas, de recursos não renováveis, são alguns dos exemplos de contrastes entre as sociedades capitalistas. De um lado, temos países ditos desenvolvidos, que desperdiçam matérias-primas e alimentos, enquanto que, do outro lado, temos os países ditos subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, que vêm sofrendo com a ausência dos mais básicos serviços prestados pelos setores públicos, a exemplo do saneamento básico (ZULAUF, 1985).

A gestão dos RSU aparece, portanto, como assunto relevante na busca do chamado desenvolvimento sustentável – visando garantir às populações futuras um ambiente saudável e equilibrado, com a diminuição gradativa do abismo sócio-econômico e ambiental que separam as sociedades ricas das pobres.

Duas conferências mundiais se organizaram sobre essa temática: a primeira, em Estocolmo, em 1972, e a segunda realizada no Rio de Janeiro, em 1992 (ECO 92). Na Agenda 21, considerada uma das maiores conquistas da Conferência Mundial Sobre o Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, a gestão dos RSU recebeu atenção especial pela crescente geração e importância que esse tema vem assumindo no cenário mundial. Na conferência foram delineadas quatro áreas específicas do gerenciamento dos resíduos sólidos:

- redução;
- reciclagem;
- disposição ambientalmente saudável; e
- ampliação dos serviços relacionados aos resíduos sólidos urbanos.

A Agenda 21 apresenta o tema pertinente aos RSU em dois capítulos; especificamente:

- Capítulo 4 – direciona para mudanças nos padrões de consumo de forma a não esgotarem as reservas e recursos naturais, e que atendam às necessidades básicas das populações presentes e futuras;

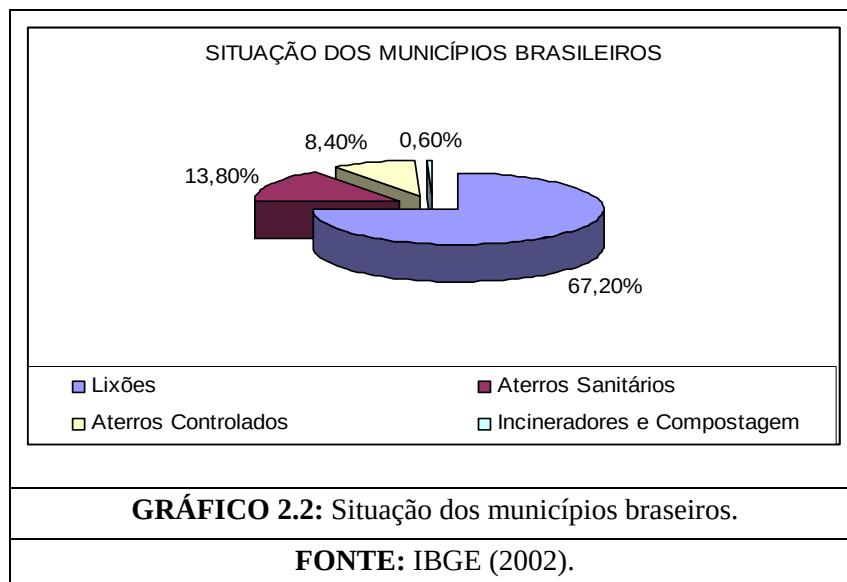
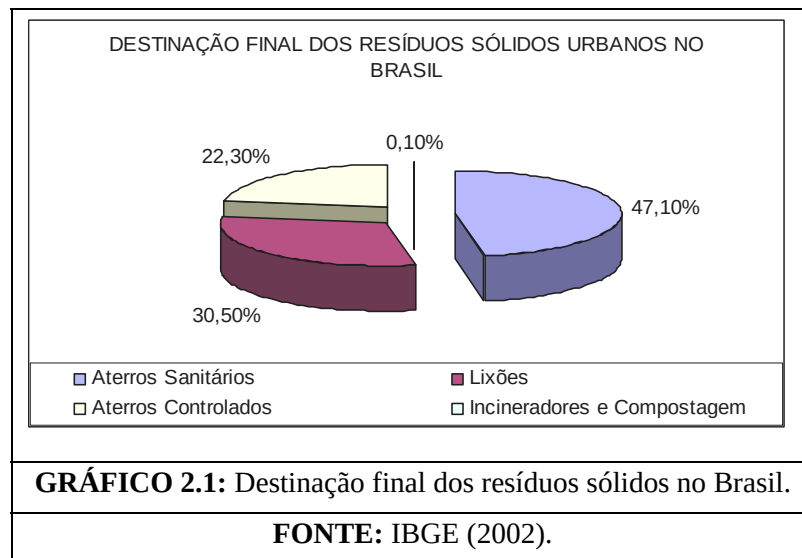
- Capítulo 21 – manejo ambientalmente sustentável dos RSU a partir de levantamentos de informações básicas de produção, tecnologias e experiências positivas em todos os países.

Na implantação das propostas apresentadas nos Capítulos 4 e 21, citados acima, resta aos responsáveis pela gestão dos serviços públicos – sejam os de urbanização como água, luz e saneamento básico, sejam pessoais como transporte coletivo, telecomunicações, educação – complexos desafios de toda ordem. Porém, o manejo dos RSU deve ser tratado com certa prioridade, visto que, se negligenciado, pode provocar impactos sócio-ambientais importantes.

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos compreende um complexo problema que vem afetando grande parte dos municípios brasileiros, principalmente nas grandes metrópoles, em decorrência de vários fatores, entre os quais a oferta de áreas apropriadas à destinação de aterros sanitários, falta de recursos financeiros e profissionais qualificados.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), a disposição dos resíduos sólidos no Brasil em lixões tem superado inúmeras metodologias menos impactantes e mais eficientes de disposição final dos RSU que os lixões. Para se ter uma idéia da dimensão dessa problemática, no Brasil, em 2000, de acordo com o próprio órgão, coletava-se cerca de 154 mil toneladas de lixo comercial e domiciliar por dia. Nesse período, a destinação dos RSU tinha as seguintes destinações: 47,10% destinados a aterros sanitários, 22,30%, destinados a aterros controlados, 30,50% em lixões e apenas 0,10% possuía outras destinações tais como compostagem e processos como incineração, conforme demonstra o GRÁFICO 2.1.

Estes dados referem-se às porcentagens do lixo coletado em termos nacionais; no entanto, quando a análise da disposição final dos RSU é feita levando-se em consideração o número de municípios, o resultado é alarmante. Segundo dados do IBGE (2002), dos 5.507 municípios brasileiros, 67,20% utilizavam lixões como forma de destinação final dos resíduos, 32,20%, aterros adequados (13,80% sanitários, 18,40% aterros controlados) e 0,6% possuíam outras destinações, conforme apresenta o GRÁFICO 2.2.



Este quadro se deve, em grande parte, às dificuldades enfrentadas pelos gestores municipais responsáveis por retirar e dar uma destinação ambientalmente e sanitariamente adequada aos resíduos. Os problemas mais graves que dificultam a gestão mais equilibrada dos resíduos com o meio ambiente e a saúde pública são, de acordo com Albert et al. (2005):

- limitação financeira devido a orçamentos inadequados, fluxo de caixa desequilibrado, tarifas desatualizadas, arrecadação insuficientes e inexistência de linha de crédito;

- falta de capacitação técnica e profissional, em todos os níveis de formação;
- descontinuidade política e administrativa.

Apesar de todos os impactos ambientais negativos ocasionados pela disposição dos RSU em lixões, este método ainda é amplamente utilizado no Brasil, pelos motivos seguintes:

- apresenta menor custo quando comparada com outros processos, exigindo poucos equipamentos e mão-de-obra não especializada;
- grande parte dos municípios brasileiros é de pequeno porte e gera uma quantidade de lixo que, em princípio, não justifica grandes instalações. Além disso, a maioria dos pequenos municípios ainda possui áreas próximas disponíveis para a construção dos aterros.

De acordo com Damasceno (2005), da totalidade dos municípios brasileiros, 73,1% possuíam população com até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados eram destinados a lixões e alagados. Apesar de estes pequenos municípios serem responsáveis por apenas 12,8% do total de resíduos sólidos gerados no país (20.658 t/dia), percentuais inferiores ao da soma das 13 maiores cidades brasileiras, com população superior a 1 milhão de habitantes, que coletam 31,9% (51.635 t/dia), estes dados não podem ser desprezados, uma vez que a poluição gerada é descentralizada e causa impactos ambientais descentralizados em todo país.

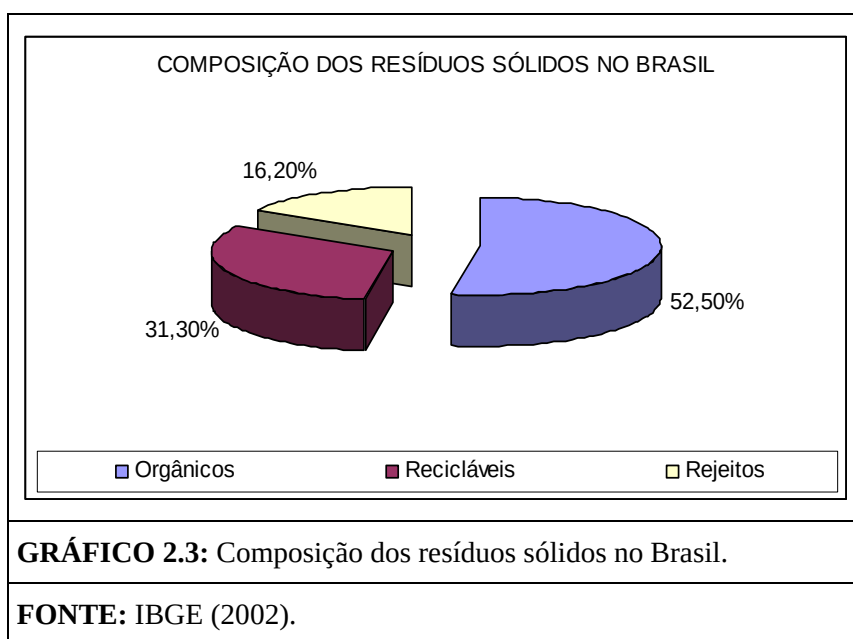
2.1.2 – Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos

A composição dos RSU, por sua vez, possui uma variação peculiar que leva em conta vários fatores, relacionados aos hábitos da população local e fatores flutuantes, tais como os sócio-econômicos, climáticos, dentre outros. A análise da composição dos resíduos, assim como de outros atributos, são de fundamental importância para o

planejamento de ações que visem o gerenciamento dos RSU de forma mais correta e precisa, dentre as quais podemos citar os estudos de viabilidade, que apontam as melhores alternativas na disposição final dos resíduos (DAMASCENO, 2005).

A caracterização dos resíduos sólidos urbanos é de suma importância na definição de metodologias de tratamento e se baseiam na determinação dos constituintes e de suas respectivas porcentagens, em peso ou volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser classificada em níveis físico, químico e biológico. Os principais fatores que influenciam na caracterização dos resíduos sólidos são apresentados no QUADRO 2.1.

A composição física e química dos resíduos sólidos, assim como as demais características, resultam das análises dos constituintes presentes no lixo. No Brasil, a composição dos resíduos sólidos apresenta, de forma geral, sua maior fração em matéria orgânica. Este dado refere-se, sobretudo, aos hábitos alimentares da população brasileira, conforme demonstrado no GRÁFICO 2.3.



Estes dados são referentes à composição física do lixo e são imprescindíveis para o planejamento de ações que norteiam as melhores alternativas quanto aos projetos de gerenciamento dos resíduos sólidos, pois refletem as características locais, tais como composição e volume dos resíduos gerados por uma determinada população. Desta

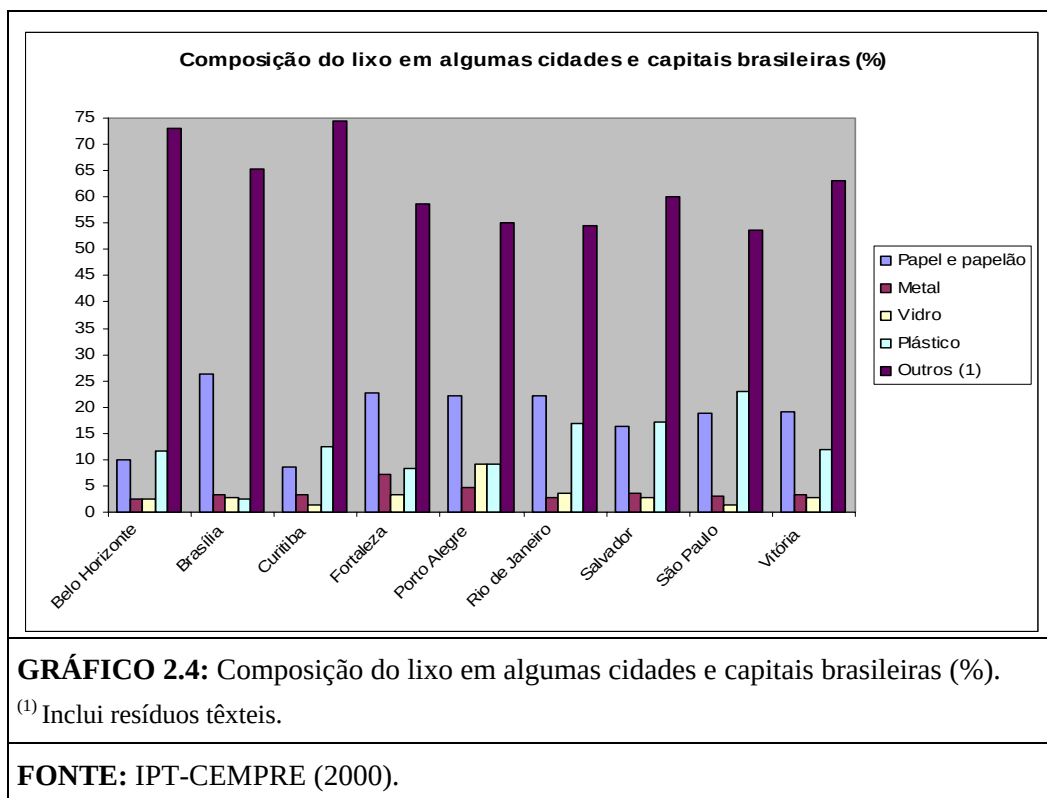
forma, os dados obtidos, quando bem analisados, podem ser úteis no que tange ao planejamento e à viabilidade de projetos que apontam a melhor alternativa para a deposição final dos resíduos domiciliares (DAMASCENO, 2005).

QUADRO 2.1 – Principais fatores que influenciam a composição dos resíduos sólidos.

Fatores	Influência
1 – Climáticos	
Chuva	Aumento do teor de umidade.
Outono	Aumento do teor de folhas.
Verão	Aumento do teor de embalagens de bebidas(latas, vidros e plásticos rígidos).
2 – Épocas especiais	
Carnaval	Aumento do teor de embalagens de bebidas(latas, vidros e plásticos rígidos).
Natal/Ano Novo/Páscoa	Aumento de embalagens (papel, papelão, plásticos maleáveis e metais) e de matéria orgânica.
Dia dos Pais/Mães etc.	Aumento de embalagens (papel, papelão, plásticos maleáveis e metais).
Férias escolares	Esvaziamento de áreas da cidade em locais não turísticos e aumento populacional em locais turísticos.
3 – Demográfico	
População urbana	Quanto maior a população urbana, maior a geração per capta.
4 – Sócio-econômico	
Nível cultural	Quanto maior o nível cultural, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica.
Nível educacional	Quanto maior o nível educacional, menor a incidência de matéria orgânica.
Poder aquisitivo	Quanto maior o poder aquisitivo, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica.
Poder aquisitivo (no mês)	Maior o consumo de supérfluos perto do recebimento do salário (fim e início do mês).
Poder aquisitivo (na semana)	Maior o consumo de supérfluo no fim de semana.
Desenvolvimento tecnológico	Introdução de materiais cada vez mais leves, reduzindo o valor do peso específico aparente dos resíduos.
Lançamento de novos produtos	Aumento de embalagens.
Promoção de lojas comerciais	Aumento de embalagens.
Campanhas ambientais	Redução de materiais não-biodegradáveis (plásticos) e aumento de materiais recicláveis e/ ou biodegradáveis (papeis, metais e vidros)

FONTE: Adaptado de Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2001).

No Brasil, a composição do lixo possui algumas peculiaridades; por exemplo, os componentes presentes no lixo não possuem uma diferenciação muito grande se compararmos as principais capitais e cidades brasileiras (Cf. GRÁFICO 2.4); no entanto, algumas destas cidades e capitais, como Curitiba, vêm se destacando no cenário nacional como cidade modelo em projetos alternativos, como a reciclagem do lixo. Isso tem contribuído, sobretudo, para a diminuição do volume de lixo que seriam, a princípio, destinados diretamente aos lixões, aterros sanitários e controlados. Parte do lixo recuperado tem contribuído positivamente para a geração de cooperativas de catadores, gerando empregos diretos e indiretos.



Os componentes predominantes do lixo urbano são materiais recicláveis como plástico, metais e vidros. Materiais que poderiam ser reaproveitados como matérias-primas para diversos produtos, estimulando a criação de cooperativas e, conseqüentemente, gerando emprego e renda a milhares de famílias. No entanto, um número insignificante de cidades brasileiras adota a reciclagem como forma de tratamento de resíduos; dessa forma, matérias que poderiam ser reaproveitadas como matérias-primas acabam sendo

incorporadas à massa de lixo, diminuindo, dessa maneira, a vida útil dos aterros e, contribuindo para a contaminação do meio ambiente.

2.1.3 – Definição, Classificação e Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

2.1.3.1 – Definição

A definição dos resíduos sólidos se baseia em interpretações que para alguns autores devem levar em consideração: hábitos e costumes das populações, fatores climáticos, sócio-econômicos, dentre outros.

Para Philippi Jr. (1999, p. 52), os resíduos sólidos são caracterizados como sendo: “Qualquer mistura de materiais ou restos destes, oriundos dos mais diversos tipos de atividades humanas, que são descartados por não apresentarem utilidade á sociedade, é considerado como resíduos sólidos”.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), um dos principais órgãos normatizadores do país, os resíduos sólidos são definidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) que, em seu item 3.1, define os resíduos sólidos e semi-sólidos como sendo os restos resultantes de atividades da comunidade de origem, sendo eles os industriais, domésticos, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. Estão incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível.

No item 3.2, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) apresenta a periculosidade de um resíduo como sendo a característica apresentada em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podendo apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

2.1.3.2 – Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente

As classificações dos resíduos sólidos variam de acordo com a sua natureza física – seco ou molhado, sua composição química – matéria orgânica ou inorgânica e os riscos potenciais que oferecem ao meio ambiente e à saúde pública – perigosos, inertes e não inertes.

No item 4, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos em duas classes distintas, sendo elas:

- a) **Resíduos classe I – perigosos:** são aqueles que apresentam periculosidade, conforme definido anteriormente, ou uma das seguintes características: inflamabilidade, toxicidade, patogenicidade, corrosividade, reatividade.
- b) **Resíduos classe II – não –perigosos:** são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I – perigosos.

Os resíduos de classe II são subclassificados do seguinte modo:

Resíduos classe II A – não inertes: são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I – perigosos ou de resíduos Classe II – B – Inertes, nos termos da NBR 10004 (ABNT, 2004,) . Os resíduos Classe II –

A – não inertes podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B – inertes: são quaisquer resíduos que quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006 (ABNT, 2004), não alterem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspectos como: cor, turbidez, dureza e sabor.

2.1.3.3 – Classificação quanto à natureza ou origem

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2001), a origem é um dos principais elementos para a caracterização dos resíduos sólidos. Com base nestes critérios, os diferentes tipos de lixo podem ser agrupados em distintas classes, a saber: **lixo doméstico ou residencial**, concernente aos resíduos gerados nas atividades domésticas diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais; e **lixo comercial**, que se refere aos resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade desenvolvida. Nas atividades de limpeza urbana, os tipos “domésticos” e “comercial” constituem o chamado “lixo domiciliar”, que, junto com o lixo público, representa a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades.

O grupo de *lixo comercial*, assim como os entulhos de obras, podem ser divididos em subgrupos chamados de pequenos geradores e grandes geradores. Pode-se adotar como parâmetro, para isso:

- a) Pequeno Gerador de Resíduos Comerciais é o estabelecimento que gera até 120 litros de lixo por dia.

b) Grande Gerador de Resíduos Comerciais é o estabelecimento que gera um volume de resíduos superior ao limite de 120 litros de lixo diário.

Analogamente, pequeno gerador de entulho de obras é a pessoa física ou jurídica que gera até 1.000 kg ou 50 sacos de 30 litros por dia, enquanto grande gerador de entulho é aquele que gera um volume diário de resíduos superior a isso.

O **Lixo público**, por sua vez, refere-se aos resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados sem utilidade, papéis, restos de embalagens e alimentos. O lixo público está diretamente associado ao aspecto estético da cidade. No caso de cidades turísticas, onde a estética é somada a outros atrativos, a limpeza dos logradouros merece especial atenção.

O **Lixo domiciliar especial** é um grupo de resíduos que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Observe-se que os entulhos de obra, também conhecidos como resíduos da construção civil só estão enquadrados nesta categoria por causa da grande quantidade de sua geração e pela importância que sua recuperação e reciclagem vêm assumindo no cenário nacional.

O grupo **Entulho de obras** representa a indústria da construção civil, que é a que mais explora recursos naturais. Além disso, a construção civil também é a indústria que mais gera resíduos.

No Brasil, a tecnologia construtiva normalmente empregada favorece o desperdício na execução das novas edificações.

Enquanto em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações encontra-se abaixo de 100kg/m^2 , no Brasil este índice gira em torno de 300kg/m^2 edificado/dia, (www.resol.com.br).

Em termos quantitativos, esse material corresponde a algo em torno de 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletados em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive o Brasil.

Os **Resíduos de fontes especiais** são aqueles que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais se destacam os **Resíduos industriais**, aqueles gerados pelas atividades industriais. São resíduos muito variados que apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem, portanto, ser estudados caso a caso. Adota-se a NBR 10004 (2004) para se classificar os resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II (Não-Inertes) e Classe III (Inertes); além disso, há os **Resíduos radioativo**, assim considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, o acondicionamento e disposição final do lixo radioativo estão a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Os **Resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários** são resíduos gerados tanto nos terminais, como dentro dos navios, aviões e veículos de transporte. Os resíduos dos portos e aeroportos são decorrentes do consumo de passageiros em veículos e aeronaves e sua periculosidade está no risco de transmissão de doenças já erradicadas no país. A transmissão também pode se dar através de cargas eventualmente contaminadas, tais como animais, carnes e plantas (IPT-CEMPRE, 2000).

Os **Resíduos Agrícolas**, segundo o IPT-CEMPRE (2000), são formados basicamente pelos restos de embalagens impregnados com pesticidas e fertilizantes químicos, utilizados na agricultura, que são perigosos. Portanto, o manuseio destes resíduos segue as mesmas rotinas e se utiliza dos mesmos recipientes e processos empregados para os resíduos industriais Classe I. A falta de fiscalização e de penalidades mais rigorosas para o manuseio inadequado destes resíduos faz com que sejam misturados aos resíduos comuns e não raramente dispostos nos vazadouros das municipalidades, ou, o que é pior, sejam queimados nas fazendas e sítios mais afastados, gerando gases tóxicos.

Finalmente, há os **Resíduos de serviços de saúde**. Segundo a Resolução CONAMA nº 05/1993, os resíduos de serviços de saúde (RSS) são definidos como resíduos gerados em hospitais, farmácias, laboratórios, consultórios médicos, odontológicos e veterinários, bancos de sangue e leite, além de estações rodoferroviárias, portos e aeroportos. Esta Resolução também classifica os RSS em quatro grupos, descritos a seguir (QUADRO 2.3), considerados como resíduos perigosos pela característica de patogenicidade, de acordo com NBR 10004 (ABNT, 1987).

Um dos grandes problemas da disposição indiscriminada dos RSU é que os mesmos são dispostos, geralmente, de forma inadequada e sem levar em consideração o grau de periculosidade que cada classe de resíduos apresenta para o meio ambiente e para a saúde pública. Geralmente os resíduos não passam por processos de triagem e segregação, ou seja, são depositados em um só lugar, sem nenhuma preocupação quanto à qualidade ambiental.

QUADRO 2.3 - Classificação dos resíduos de serviços de saúde

Tipo	Nome	Característica
Classe A- Resíduos Infectantes		
A.1-	Biológicos	Cultura, inócuo, mistura de microorganismos e meio de cultura inoculado proveniente de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por estes materiais
A.2	Sangue e hemoderivados	Sangue e hemoderivados com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, bolsa de sangue para análise, soro, plasma e outros sub produtos.
A.3	Cirúrgicos, anatomo-patológicos e exudato	Tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais.
A.4	Perfurantes e cortantes	Agulhas, ampola, pipeta, lamina de bisturi e vidro.
A.5	Animais contaminados	Carcaça ou parte de animal inoculado, exposto a microorganismos patogênicos, ou portador de doença infecto-contagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com estes.
A.6	Assistência a pacientes	Secreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por estes materiais, inclusive restos de refeições.
Classe B - Resíduos Especiais		
B.1	Rejeitos radioativos	Material radioativo ou contaminado com radionuclídeos, provenientes de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia.
B.2	Resíduos farmacêuticos	Medicamentos vencidos, contaminados, interditado ou não utilizado.
B.3	Resíduos químicos perigosos	Resíduos tóxicos, corrosivos, inflamáveis, explosivos, reativos, genotóxico ou mutagênico.
Classe C - Resíduos Comuns		
Com	Resíduos comuns	São aqueles que não se enquadram nos tipos A e B e que, por sua semelhança aos resíduos domésticos, não oferecem riscos adicional à saúde pública.

FONTE: Adaptado de Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM (2001).

2.1.4 – Caracterização físico-química e biológica do lixo

As características dos resíduos sólidos podem ser físicas, químicas e biológicas e estão relacionadas fundamentalmente à sua composição. Algumas características dos RSU são fundamentais para que se possam conhecer melhor suas particularidades, a fim de poder encontrar as melhores alternativas de disposição e tratamento dos mesmos.

Segundo Lima (1995), a caracterização dos constituintes do lixo serve para mostrar as potencialidades econômicas que o mesmo apresenta, subsidiando informações para a escolha do melhor e mais adequado sistema de tratamento e disposição final. Pode-se dizer, ainda, que a eficiência do sistema de coleta e disposição final está fundamentada em uma análise criteriosa das características físicas e químicas dos resíduos.

2.1.5 – Características Físicas

A NBR 10.004 (ABNT-2004) postula que os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a Geração *per capita*, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e compressividade, conforme QUADRO 2.4.

2.1.6 – Características Químicas

As características químicas do lixo fornecem informações relativas ao seu Ph, poder calorífico, composição química e relação carbono nitrogênio (C:N), dados essenciais na definição das melhores tecnologias a serem empregadas no tratamento dos RSU. O QUADRO 2.5 apresenta as principais características químicas dos resíduos sólidos urbanos.

QUADRO 2.4 – Características Físicas dos Resíduos Sólidos Urbanos

• Características	• Definição
• Composição Gravimétrica	Traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total do lixo. Subsidia estudos de destinação final, principalmente quanto ao reaproveitamento e reciclagem de resíduos.
• Peso Específico	Representa o peso dos resíduos em função do volume por eles ocupado nas condições normais em que se apresenta para a coleta, sem sofrer processos de redução. Sua determinação é importante para o dimensionamento de equipamentos e instalações e é um parâmetro determinante do grau de industrialização e dos níveis sócio-econômicos e cultural de uma comunidade. Este parâmetro varia inversamente com o padrão de vida da população. Quanto mais desenvolvida for a população, menor é o peso específico de seu lixo. No Brasil, o peso específico atual é, em média, da ordem de 192 Kg/m ³ .
• Produção Per capta	Relaciona a quantidade de lixo gerada diariamente e o número de habitantes de uma determinada região. A quantidade de lixo produzida por pessoa (“per capta”) está sujeita aos mesmos fatores que influenciam a composição do lixo. Este é um dado de grande importância no dimensionamento, transporte, tratamento e destinação final do lixo. A produção “per capta” no Brasil varia em torno de 0,6 a 1,2 Kg/hab/dia, de acordo com dados do IBGE.
• Compressibilidade	Indica a redução do volume que uma massa de lixo pode sofrer, quando submetida a uma determinada pressão. A compressibilidade do lixo situa-se em torno de 1:3 e 1:4 para uma pressão equivalente a 4Kg/cm ³ . Tais valores são utilizados para o dimensionamento de equipamentos computadores e auxiliam na estimativa da vida útil dos aterros.
• Teor de Umidade	Representa a quantidade de água contida na massa de lixo. Importante nos processos de tratamento e destinação final do lixo, e nos sistemas que visam gerar ou recuperar energia a partir dos resíduos sólidos. A umidade dos resíduos varia muito em função da estação do ano (incidência de chuvas), e atua na velocidade de decomposição dos materiais biodegradáveis presentes na massa do lixo. O teor de umidade médio do lixo no Brasil é da ordem de 30 a 40%.

FONTE: Adaptado de Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM (2001).

QUADRO 2.5 – Principais características químicas dos resíduos sólidos (RSU)

Característica	Definição
Relação C:N	Indica a degradabilidade e a capacidade dos resíduos em decomposição de se constituírem em compostos orgânicos bio-estabilizados. É um parâmetro básico no tratamento do lixo, principalmente na compostagem.
Poder calórico	O poder calórico representa a capacidade de um material de desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima, sendo expresso em Kcal/Kg de lixo. É um parâmetro utilizado no dimensionamento de incineradores. Pode ser expresso em termos de poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI). PCS é a quantidade de calor despreendida por quilo de combustível, para queimar-se por completo, resultando anidrido e água. PCI é a quantidade de calor que se desprende de 1 kg de combustível produzindo gás carbônico e vapor d' água. A diferença entre eles é o calor necessário para vaporizar a água, tanto aquela apresentada pelo material, como a que se forma durante o processo de combustão.
Potencial Hidrogênionico (pH)	Indica o teor de acidez ou alcalinidade. Sua determinação tem fundamental importância na digestão dos resíduos, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo de decomposição em um aterro ou em outros processos de tratamento e disposição final.

FONTE: Adaptado de Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM (2001).

2.1.7 – Características Biológicas

O lixo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, pode poluir o solo, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo um problema de ordem estética e, mais ainda, uma séria ameaça à saúde pública. Por conter substâncias de alto teor energético e, por oferecer disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo, o lixo é preferido por inúmeros organismos vivos (LIMA, 1995).

Ainda de acordo com Lima (1995), podem ser classificados em dois grandes grupos os seres vivos que habitam o lixo: os macrovetores, a exemplo dos ratos, baratas, moscas e mesmo animais de maior porte como cães, aves, suínos, eqüinos. O próprio homem, o catador de lixo, enquadra-se neste grupo. No segundo grupo dos microvetores estão os vermes, bactérias, fungos, actiomicetos e vírus, sendo estes últimos de maior importância epidemiológica por serem patogênicos e, portanto, nocivos ao homem.

2.2 – Aspectos epidemiológicos do lixo

Segundo Lima et al. (2002), o lixo é um componente importante do perfil epidemiológico de uma comunidade, exercendo influência, ao lado de outros fatores, sobre a incidência de doenças. Do ponto de vista sanitário, não se pode afirmar que o lixo é a causa direta de doenças.

No entanto, é evidente seu papel na transmissão de doenças provocadas por macro e microorganismos patogênicos ou não, que vivem ou são atraídos pelo lixo.

Estes organismos encontram no lixo um ambiente propício à sua proliferação, uma vez que é possível encontrar vários tipos de resíduos de natureza biológica, tais como fezes, animais mortos ou restos de origem vegetal e animal, que podem ser agentes responsáveis por enfermidades transmitidas ao homem e aos animais domésticos ou que circulam no espaço de ocupação humana, conforme apresentado no QUADRO 2.6.

Como podem ser observados no QUADRO 2.6, os resíduos sólidos urbanos possuem uma infinidade de particularidades que devem ser levadas em consideração no que se refere ao planejamento e à disposição final dos mesmos, afim de que não causem impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública.

Segundo o IPT-CEMPRE (2000), o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos deve ser encarado como o envolvimento de diferentes órgãos públicos e privados com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o transporte, o

tratamento e a disposição final dos mesmos, elevando, assim, a qualidade de vida da população.

QUADRO 2.6 – Principais vetores atraídos pelo lixo

Vetores	Modo de Transmissão	Doenças Transmitidas	Formas de Controle
Ratos e Pulgas	Através do corpo (pulga), por mordidas, pelas fezes e urina	Peste bubônica, tifo murino, salmoneloses (gastroenterite), leptospirose, febre de Haverhil, triquinose, toxoplasmose, etc	Coleta e disposição adequadas do esgoto e do lixo, proteção dos alimentos, eliminação de frestas, envenenamento, fumigação, utilização de inimigos naturais e ratoeiras
Moscas	Por via mecânica (patas), pelas fezes e saliva	Febre tifóide, varíola, teníase, poliomielite, disenteria, hepatite infecciosa, cólera, amebíase, giardiase e salmonelose	Coleta e disposição adequada do lixo e do esgoto, proteção dos alimentos, limpeza das instalações, utilização de larvicidas e inseticidas
Mosquitos	Picada da fêmea	Malaria, dengue, febre amarela, leishmaniose e filariose	Predadores naturais, inseticidas, coleta e disposição adequadas de lixo e esgoto, limpeza das instalações, óleos (petrolagem), drenagem e aterros (eliminação de criadouros), proteção individual
Baratas	Fezes e por via mecânica (corpo)	Amebíase, giardiase e outras doenças gastrintestinais e febre tifóide	Proteção dos alimentos, coleta e disposição adequadas do esgoto e do lixo, limpeza das instalações, uso de inseticidas

FONTE: Adaptado de Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM (2001)

2.2 – Formas de disposição e tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

Historicamente, de acordo com as literaturas consultadas, são três as formas básicas existentes de disposição final de resíduos: lixão ou vazadouro, aterro controlado e aterro sanitários.

2.2.1 – Lixões ou vazadouros

Embora ainda muito utilizado no Brasil por cerca de 70% dos municípios, os lixões (ou vazadouros) são uma forma inadequada de disposição final dos resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (IBGE, 2002).

Segundo Munõz (2002), os resíduos assim lançados a “céu aberto” acarretam sérios problemas à saúde pública e ao meio ambiente, sendo foco permanente de proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.). A presença de catadores de materiais recicláveis é comum nestas áreas; em alguns lixões a presença de pessoas e animais domésticos é uma questão de sobrevivência. A FIGURA 2.1 retrata a real situação de um lixão na cidade de Mossoró (RN).



FIGURA 2.1: Aspectos gerais do lixão de Mossoró-RN, onde se observa a presença de animais domésticos junto a catadores em meio ao lixo.

FONTE: <http://www2.uol.com.br/omossoroense>.

No meio ambiente, essa forma de disposição dos resíduos causa a contaminação do ar pelo lançamento de gases provenientes da decomposição da matéria orgânica contida no lixo, tais como CO_2 , N_2 , CH_4 , H_2 , dentre outros, gerando maus odores e inconveniência às comunidades que residem próximo aos locais de lançamento do lixo. No solo e nos recursos hídricos, a contaminação se dá principalmente pela percolação do chorume (líquido de cor preta, de elevado potencial poluidor, gerado pela decomposição da matéria orgânica contida na massa do lixo), que resultam, na maioria dos casos, em sérios impactos ao meio ambiente, principalmente no solo e nos recursos hídricos. O esquema da FIGURA 2.2 mostra a situação da maioria dos lixões.

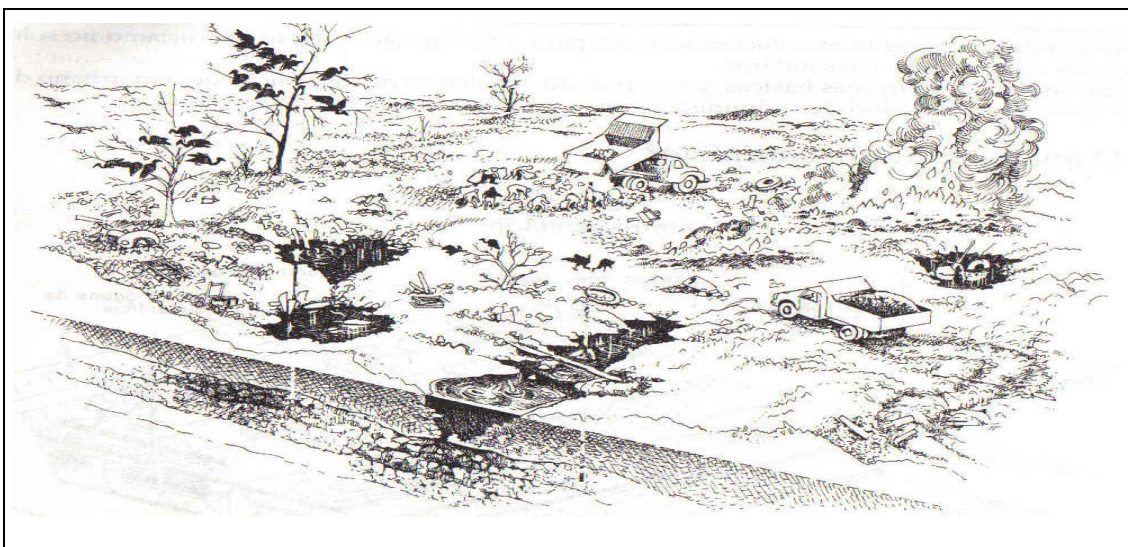


FIGURA 2.2: Esquema de um lixão a céu aberto.

FONTE: IPT-CEMPRE (1995).

Acrescenta-se a esta situação o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais; geralmente, verifica-se até mesmo a disposição de dejetos originados de serviços de saúde e de indústrias com resíduos de elevado potencial poluidor (IPT-CEMPRE, 1995).

2.2.2 – Aterro controlado

Os aterros controlados diferem-se dos lixões por serem constantemente recobertos com uma camada de terra; em geral, esse procedimento obedece a intervalos de tempo relativamente curtos. O solo não é impermeabilizado e nem sempre o aterro possui sistema de drenagem dos líquidos percolados, tampouco captação de gases formados pela decomposição da matéria orgânica (MUNÔZ, 2002).

Conforme o IPT-CEMPRE (1995), o aterro controlado é uma forma de disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais, utilizando-se de princípios de

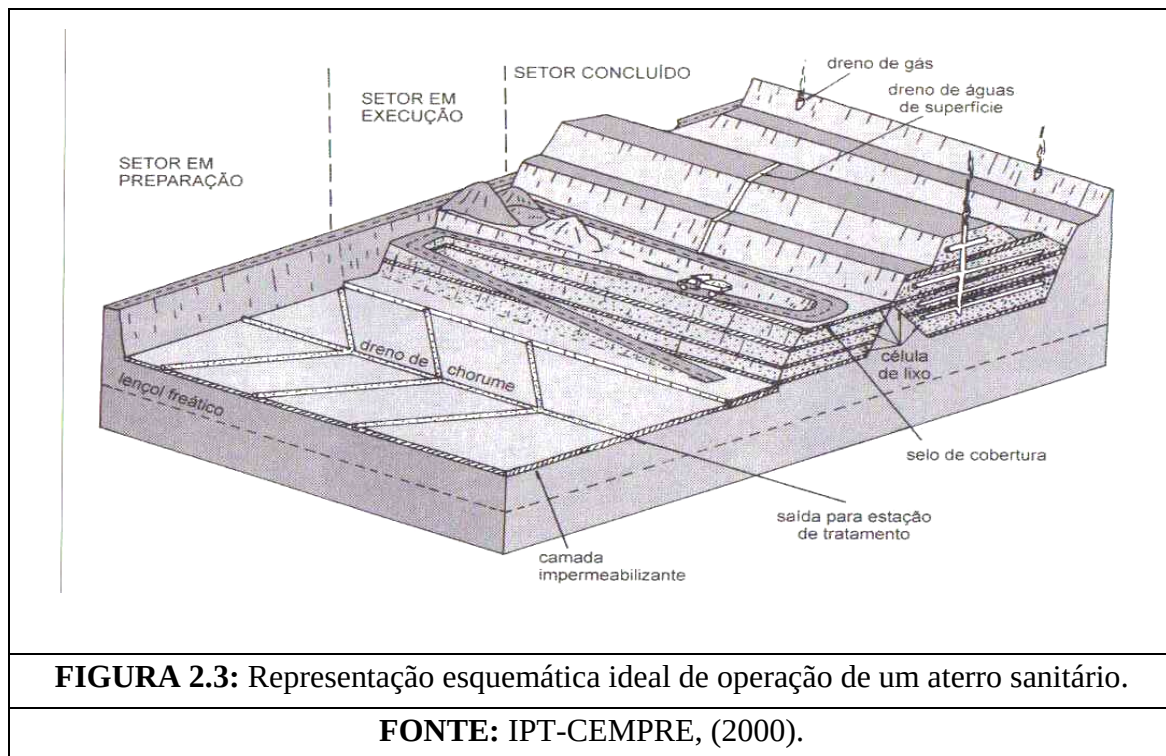
engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte (solo) na conclusão de cada jornada de trabalho.

Entretanto, esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento de chorume ou dispersão dos gases gerados (IPT-CEMPRE, 1995).

2.2.3 – Aterro sanitário

De acordo com IPT-CEMPRE (2000), o aterro sanitário consiste em uma instalação previamente planejada para posterior disposição dos resíduos sólidos, visando não causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando ou reduzindo a zero os impactos ambientais. Para se atingir tais objetivos este método de disposição dos RSU utiliza-se de princípios e técnicas de engenharia para confinar os RS à menor área possível e reduzindo-os ao menor volume possível, cobrindo as células onde são depositados os resíduos com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. As FIGURAS 2.3 e 2.4 apresentam aspectos gerais de um aterro sanitário em operação.

Antes de se planejar e projetar um aterro sanitário, devem-se realizar estudos prévios que, segundo a NBR 8419 (ABNT-1992), devem ser levados em consideração: estudos de localização da melhor área a qual o aterro sanitário será implantado, levando em consideração à população de entorno; devem ser escolhidos locais de fácil acesso; realização de estudos hidrogeológicos, geológicos e topográficos na escolha da melhor área, monitoramentos periódicos das águas subsuperficiais; impermeabilização da base do aterro; instalação de drenos para coleta de águas pluviais e tratamento de gases e percolados; instalação de balanças (para quantificar e controlar a entrada de resíduos); instalação de escritório administrativo, dentre outros.



O sistema de aterro sanitário tem se mostrado uma das técnicas de disposição de resíduos sólidos mais segura e difundida, em função dos custos relativamente baixos e

das vantagens que este sistema oferece na recuperação ecológica de áreas deterioradas. As vantagens do sistema de aterro sanitário são inúmeras, porém o baixo custo que envolve esta prática de disposição é que a torna interessante. A esse respeito, o IPT-CEMPRE (2000), além destas vantagens, destaca:

- disposição do lixo de forma adequada;
- capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos;
- condições especiais para a decomposição biológica da matéria orgânica presente no lixo.

Entretanto, os riscos associados a este método não são descartados, incluindo a possibilidade de poluição das águas superficiais e subsuperficiais pela percolação do chorume, além da formação de gases nocivos à saúde e ao meio ambiente. No entanto, o sistema de aterro sanitário tem sido adotado com regularidade, inclusive nos países desenvolvidos (LIMA, 1995).

2.3 – Percolado de aterros sanitários (chorume): geração e composição

O chorume, um líquido de cor escura, odor desagradável e elevado poder de poluição, é uma substância resultante da decomposição (atividade enzimática) natural dos resíduos orgânicos. Em áreas onde ocorre a disposição dos resíduos sólidos, caso não seja drenado e devidamente tratado, este líquido pode penetrar no subsolo e contaminar águas subsuperficiais com metais pesados e diversas outras substâncias nocivas à saúde pública e ao meio ambiente (DOMINGUES, 2005).

Diversos fatores contribuem para a quantidade e a qualidade do percolado. A pluviometria é um fator fundamental na quantidade de percolado a ser produzido no aterro. A previsão da quantidade de percolado produzida é um parâmetro crítico no projeto de um aterro sanitário.

De maneira geral, segundo Carvalho (2001), a quantificação do percolado que alcança a base dos resíduos sólidos (L_v) é fundamentada no balanço hídrico e calculado a partir da seguinte equação:

$$L_v = P - R - AS - ET$$

Onde:

L_v = volume que passa pela base do aterro;

P = precipitação;

R = volume perdido pelo escoamento superficial;

AS = volume de água absorvido pelos resíduos;

ET = volume perdido por evapotranspiração.

A geração de percolado (chorume) em locais de deposição de resíduos sólidos urbanos tem gerado preocupações relevantes no que diz respeito à contaminação do solo, ar e, principalmente, dos recursos hídricos, dada a heterogeneidade de componentes químicos presentes em sua composição, dentre outros, a saber: fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrato, zinco, cobre, cádmio, chumbo, dentre outros elementos químicos (IPT-CEMPRE, 2000).

De acordo com Qasim; Chiang (1994 apud IPT-CEMPRE, 2000), durante a vida útil ou ativa de um aterro sanitário, a geração do chorume é influenciada por uma série de fatores dos quais podem-se ressaltar três grupos conforme QUADRO 7.

A produção do chorume em um aterro sanitário não aparece imediatamente após a disposição dos resíduos; sua manifestação é posterior a um determinado período do início da disposição das primeiras células. A decomposição biológica do lixo é em grande parte responsável pela produção de gases e pela produção e composição do chorume, que depende fundamentalmente da fase em que o processo de decomposição se encontra (IPT-CEMPRE, 2000). De forma geral, o processo de decomposição do lixo

em aterros se dá em três fases: a primeira denomina-se aeróbica; em seguida, tem-se a fase acetogênica e, por último, a fase metanogênica (LO, 1996 apud IPT-CEMPRE, 2000).

QUADRO 2.7 - Fatores que influenciam a geração de lixiviados em aterros sanitários

Fatores que Influenciam a Geração de Lixiviados (Chorume) em Aterros Sanitários.		
Fatores climáticos e correlatos	Fatores relativos ao resíduo sólido	Fatores relativos ao tipo de disposição
Regime de chuvas e precipitação pluviométrica anual	Composição	Características de permeabilidade do aterro
Escoamento superficial	Densidade	Idade do aterro
Infiltração	Teor de umidade inicial	Profundidade do aterro

FONTE: Adaptado de IPT-CEMPRE (2000).

Durante essas fases, a susceptibilidade ao carreamento ou arraste de substâncias químicas pelo líquido que escoar pela massa do lixo se modifica drasticamente. Por meio deste processo, os compostos arrastados do interior das massas de resíduos dão origem ao chorume, que passa a ter composição diversa (IPT-CEMPRE, 2000).

Um outro dado importante é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é um indicador da carga orgânica composta em um líquido. Essa técnica analítica avalia a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos degradem a matéria orgânica presente na mistura. Segundo Domingues (2005), as características do chorume dependem de vários fatores que vão desde condições ambientais locais, tempo de deposição, forma de operação do aterro e até características dos resíduos aterrados.

De acordo com Jucá et al. (2003), a produção e tratamento de chorume é uma das questões mais importantes relacionadas a projeto e operação de aterros de RSU. O chorume produzido pela degradação dos resíduos possui um alto potencial poluente, com composições variadas, principalmente em função das condições ambientais, características físico-químicas dos resíduos e idade dos aterros.

Na fase inicial do aterro, logo após a sua cobertura ainda há presença de ar e, portanto, de oxigênio que se encontra confinado no interior das células. Os microrganismos aeróbicos, ou seja, aqueles que utilizam oxigênio na decomposição da matéria orgânica, dão início à primeira das fases do processo de decomposição do lixo. Essa fase, que compreende a decomposição aeróbica, é relativamente curta, durando em média um mês, consumindo a quantidade limitada de oxigênio presente nas células. Durante a fase aeróbia, ocorre uma grande liberação de calor. A temperatura do aterro se eleva consideravelmente em relação à do ambiente. A elevação da temperatura pode ocasionar entre outros, a formação de sais contendo metais, pois muitos íons são solúveis em água em temperaturas elevadas (IPT-CEMPRE, 2000).

Após diminuição significativa da quantidade de oxigênio, começa a predominar microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não utilizam oxigênio na decomposição da matéria orgânica. Esses microrganismos são conhecidos como bactérias acetogênicas. As bactérias acetogênicas, primeiramente, convertem o material orgânico particulado, como a celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos, em um processo denominado hidrólise ou liquefação. Posteriormente, segue-se a fermentação, que pode perdurar por vários anos. Nessa fase, são produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis, como ácido acético, e também quantidades significativas de nitrogênio amoniacal (IPT-CEMPRE, 2000). Os valores baixos de pH favorecem, também, o aparecimento de maus odores, devido à liberação de gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) dentre outros gases (LIMA, 1995).

De acordo com o IPT-CEMPRE, (2000), ao se misturar com líquidos que percolam pela massa de resíduos sólidos, o pH do chorume cai para valores entre 4 e 6. O caráter ácido dessa mistura contribui para a solubilização de materiais inorgânicos, podendo apresentar altas concentrações de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio. De acordo com Domingues (2005), nessa fase o chorume produzido apresenta grande quantidade de matéria orgânica, apresentando, no entanto, uma alta DBO, valor este usado para indicar a concentração de matéria orgânica em um volume líquido. Nessa fase, geralmente o chorume possui valores da ordem de 10 g/l. Um outro indicador da

quantidade de compostos orgânicos em um líquido é a Demanda química de Oxigênio (DQO).

Na terceira e última fase, os compostos formados nessa fase (acetogênica) começam a ser consumido por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano e ao gás carbônico (IPT-CEMPRE, 2000).

O impacto produzido pelo chorume sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com sua fase de decomposição. O chorume de aterros novos, quando recebe quantidades significativas de águas pluviais, é caracterizado por pH ácido, alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), alta demanda química de oxigênio (DQO), entre diversos compostos potencialmente tóxicos. Com o passar dos anos, há uma redução significativa da biodegradabilidade devido à conversão em gás metano e CO_2 de parte dos componentes biodegradáveis (SERAFIM et al., 2003). O QUADRO 2.8 apresenta a composição do chorume com diferentes idades.

QUADRO 2.8 – Composição do chorume com diferentes idades.

• Parâmetros (mg/L) ^a	• Idade do Aterro		
	• 1 ano	• 5 anos	• 16 anos
• DBO	• 7.500-28.000	• 4000	• 80
• DQO	• 10.000-40.000	• 8.000	• 400
• pH	• 5,2-6,4	• 6,3	• -
• SDT	• 10.000-14.000	• 6.794	• 1.200
• SST	• 100-700	• -	• -
• Condutividade	• 600-9.000	• -	• -
• Alcalinidade (CaCO ₃)	• 800-4.000	• 5.810	• 2.250
• Dureza (CaCO ₃)	• 3.500-5.000	• 2.200	• 540
• Fósforo Total	• 25-35	• 12	• 8
• Ortofosfato	• 23-33	• -	• -
• Nitrogênio Amoniacal	• 56-482	• -	• -
• Nitrato	• 0,2-0,8	• 0,5	• 1,6
• Cálcio	• 900-1.700	• 308	• 109
• Cloro	• 600-800	• 1.330	• 70
• Sódio	• 450-500	• 810	• 34
• Potássio	• 295-310	• 610	• 39
• Sulfato	• 400-600	• 2	• 2
• Manganês	• 75-125	• 0,06	• 0,06
• Magnésio	• 160-250	• 450	• 90
• Ferro	• 210-325	• 6,3	• 0,6
• Zinco	• 10-30	• 0,4	• 0,1
• Cobre	• -	• <0,5	• <0,5
• Cádmio	• -	• <0,05	• <0,05
• Chumbo	• -	• 0,5	• 0,5

(^a)Todos os valores em mg/L, exceto condutividade que é expressa em microhms por centímetro e pH que não tem unidade.

FONTE: Adaptado de IPT-CEMPRE (2000).

2.3.1 – Técnicas utilizadas para o Tratamento de Percolados (Chorume)

O chorume originado em aterros sanitários, controlados e em lixões, contém altas concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas, possuindo um grande potencial poluidor de águas subterrâneas e superficiais, razão esta pela qual o chorume deve ser corretamente submetido a tratamento antes de ser lançado em corpos hídricos, infiltrados no solo ou, eventualmente, encaminhados para redes coletoras de esgoto (IPT-CEMPRE, 2000).

As técnicas comumente empregadas para tratamento de rejeitos industriais têm sido empregadas para tratamento de chorume incluindo os tradicionais processos biológicos, aeróbios e anaeróbios, como também uma variedade de processos físico-químicos, conforme citado por Serafim et al. (2003).

Entretanto, a capacidade de certos microorganismos para degradar a matéria orgânica é muito limitada, além de estarem sujeitos a quaisquer variações de pH ou de cargas tóxicas, que podem interromper o metabolismo das bactérias, outras dificuldades são comumente encontradas (IPT-CEMPRE, 2000). Entre os principais inconvenientes destacam-se, a dificuldade no controle da população de microorganismos e a necessidade de um tempo relativamente longo para que os efluentes atinjam padrões aceitáveis. Conforme exposto anteriormente, o pH do chorume varia de acordo com sua fase de decomposição predominante. Altas concentrações de DBO e DQO são comuns e a presença de produtos químicos tóxicos também (IPT-CEMPRE, 2000).

Em virtude de características particulares e das diferentes idades de disposição dos RS, a concentração das diversas substâncias presente na sua composição varia para cada tipo de aterro, bem como dentro de um mesmo aterro para cada conjunto de células envolvidas (IPT-CEMPRE, 2000).

Diferentes caminhos na degradação de compostos poluentes podem ser observados devido a algumas características dos microorganismos, que em geral alteram a biodigestão depois de aclimatados ao meio (SERAFIM et al, 2003). Isto vem a confirmar a necessidade que os processos de tratamento, destinados à degradação de poluentes, devem ser criteriosamente avaliados.

Ainda conforme Serafim et al. (2003), tratamentos baseados em processos químicos são capazes de promover a degradação ou até mesmo a mineralização do material poluente; no entanto, apresenta o inconveniente de ter que adicionar mais compostos químicos a um meio que já se encontra muito agressivo ao meio ambiente. Porém, o desempenho de cada processo está relacionado à natureza química do chorume utilizado no tratamento, sendo que os resultados podem ser influenciados pelo fator idade, carga orgânica, clima, entre outros.

Observa-se, também, que a combinação de vários fatores, que vão desde as altas concentrações de DBO e DQO, muitas vezes superiores 200 vezes as encontradas em esgotos sanitários, até consideráveis variações de vazão, em decorrência dos diferentes índices pluviométricos de cada ano, exigem projetos de tratamento de chorume bastante específicos, ou seja, a peculiaridade de cada aterro sanitário deverá ser cuidadosamente levada em conta (IPT-CEMPRE, 2000).

É de fundamental importância no sucesso de empreendimentos desse tipo que não só o projeto e a construção exijam cuidados, como também a operação dos sistemas de tratamento deverá contar com recursos humanos adequados às variações próprias de determinados aterros. No entanto, observa-se que, na realidade brasileira, a capacitação da mão-de-obra empregada frequentemente está aquém das necessidades oriundas da utilização de equipamentos, maquinários, bem como dos procedimentos exigíveis (IPT-CEMPRE, 2000).

2.3.2 – Fatores relevantes no dimensionamento do tratamento de chorume

Normalmente, as unidades de tratamento de percolados são dimensionadas em módulos que guardam relação com a evolução do aterro ao longo do tempo. Desta forma, as variações de vazão e de composição do chorume, entre outras variáveis, devem ser cuidadosamente previstas. Caso contrário, poderão surgir problemas com o tratamento (IPT-CEMPRE, 2000).

Além das hipóteses mencionadas, é necessário estar atento às exigências legais, particularmente aquelas relativas à disposição final dos efluentes tratados. Da mesma forma, é importante que se leve em conta a evolução das tecnologias em face das demandas mais rigorosas. Portanto, essas considerações apontam para um projeto com características mais flexíveis, porém tendo uma evolução consoante com as mudanças das condições (IPT-CEMPRE, 2000).

De acordo com Robinson; Moris (1979 apud IPT-CEMPRE 2000), para determinação do tipo de tratamento e do grau de eficiência desejado, os seguintes fatores devem ser considerados na elaboração de um projeto visando o tratamento do chorume:

- característica do chorume: determinação das concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos e sua evolução ao longo do tempo;
- presença de substâncias perigosas: determinação das concentrações de compostos químicos tóxicos e metais pesados;
- alternativas de disposição do efluente tratado de maneira associada à legislação vigente: corpos d'água superficiais, redes coletoras de esgoto, tratamento no solo e circulação para o aterro sanitário;
- estudos de tratabilidade: levantamento de parâmetros para projetos e operação do aterro visando a escolha da tecnologia mais adequada;
- avaliação das alternativas tecnológicas disponíveis;
- necessidades operacionais: determinações analíticas, treinamento de técnicos etc.;
- custos de implantação e operação.

De modo geral, todos os efluentes líquidos provenientes de aterros sanitários podem ser tratados de maneira satisfatória, evitando ou minimizando os impactos indesejáveis do

despejo dos efluentes tratados no que concerne à saúde pública e ao meio ambiente (IPT-CEMPRE, 2000).

2.3.3 – Metodologias de tratamento de chorume

Para o tratamento dos efluentes líquidos provenientes dos aterros sanitários, são mencionados, como apresenta o IPT-CEMPRE (2000), três principais métodos, a saber: tratamento biológico; recirculação do chorume por intermédio das células do aterro e tratamento físico-químico.

2.3.3.1 – Tratamento Biológico

O tratamento biológico compreende um conjunto de tecnologias bastante eficazes na redução das altas concentrações de matéria orgânica encontrada na composição de chorume. Por ser um processo natural, além de promover um tratamento adequado ao meio, seu custo é relativamente mais baixo se comparado a outras metodologias convencionais de tratamento (LIMA, 1995).

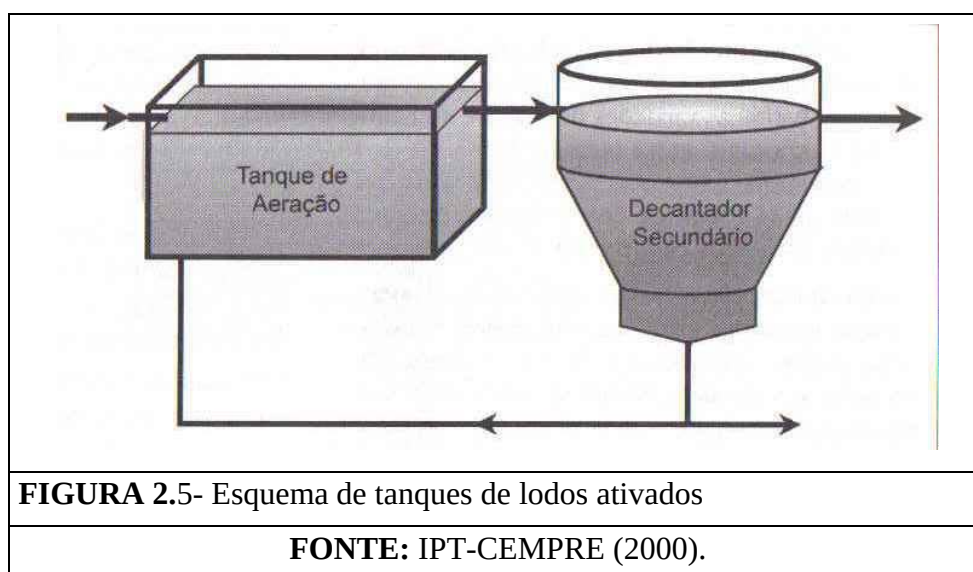
O tratamento biológico do chorume propicia a degradação da matéria orgânica e de outros compostos de difícil degradação de forma natural, pela ação de microrganismos que utilizam processos anaeróbio e aeróbio para oxidar os compostos presentes no chorume (IPT-CEMPRE, 2000). No entanto, o tratamento biológico não provoca alterações nem destruição de compostos inorgânicos, sendo necessárias outras

metodologias paralelas para este tratamento, como os processos físico-químicos, para que seja garantida uma eficácia maior no tratamento.

O IPT-CEMPRE (2000) aponta diversos tipos de tratamento biológicos que podem ser utilizados no tratamento de chorume. Os mais conhecidos são: tratamento por lodo ativado; lagoas aeradas; lagoas de estabilização e reatores ou digestores aeróbios de fluxo ascendente (RAFAs).

A – Lodos ativados

Segundo IPT-CEMPRE (2000), estes sistemas tem sido capaz de converter a matéria orgânica biodegradável presente no chorume em formas inorgânicas mais estáveis ou em massa celular. Esse processo é constituído por fase aeróbia, ou seja, necessita de oxigênio e, geralmente, é fornecido por equipamentos que promovem a aeração do líquido sob tratamento, conforme a FIGURA 2.5.



No tratamento de lodos ativados tradicionais, após a passagem do chorume pela sedimentação primária, a maioria do material orgânico em estado coloidal e solúvel é metabolizado nos tanques de aeração por diversos grupos de microorganismos. Gera-se, assim, como produtos finais, dióxido de carbono, água e nitratos. Simultaneamente, uma fração é convertida em massa celular e separada da fase líquida por ação da gravidade em decantadores secundários. Grande parte da massa sedimentável retorna para o tanque de aeração, aumentando a concentração de microorganismos no sistema, aumentando, portanto, sua eficácia (IPT-CEMPRE, 2000).

B – Lagoas aeradas

Em conjunto, as lagoas aeradas são construídas com taludes de terra, podendo também ser construídas com concreto. As profundidades utilizadas são de 2,5 a 5 m e, normalmente, são usados aeradores mecânicos para mistura e aeração da massa líquida, conforme demonstra a FIGURA 2.10.



FIGURA 2.10 – Esquema de lagoas de aeração.

FONTE: <http://www.saeituiutaba.com.br/?contexto=040402>.

De acordo com o IPT-CEMPRE (2000), historicamente as lagoas aeradas foram desenvolvidas a partir de lagoas de estabilização. As lagoas aeradas são utilizadas para

tratamento do chorume, esgoto doméstico e despejos industriais com elevados teores de substâncias biodegradáveis. No seu planejamento e construção devem ser levados em consideração fatores relativos à disponibilidade de áreas, fonte de energia elétrica e custos de implantação e operação.

As lagoas aeradas podem ser classificadas em aeróbias e facultativas, dependendo principalmente do grau de turbulência e da concentração de oxigênio dissolvido no seu interior (IPT-CEMPRE, 2000).

Nas lagoas aeradas aeróbias, o nível de potência instalada é suficientemente alto para introduzir o oxigênio necessário em todo o sistema (lagoa) e também para evitar a sedimentação dos sólidos em suspensão. Já as lagoas aeradas facultativas são aquelas em que o nível de potência instalada é suficiente para introduzir na massa líquida o oxigênio necessário ao processo, porém não é suficiente para impedir a sedimentação de boa parcela dos sólidos em suspensão; em consequência disso, parte dos sólidos em suspensão (afluentes) e parte dos novos sólidos em suspensão produzidos na lagoa pela utilização da matéria orgânica tendem a se sedimentar nas áreas de menor turbulência. No entanto, esses sólidos que sedimentaram passam a sofrer digestão anaeróbia no fundo da lagoa (IPT-CEMPRE, 2000). Assim sendo, tem-se na lagoa a atividade biológica em condições anaeróbias, em parte dela, e em condições aeróbias em sua outra parte, recebendo, por conseguinte, em função deste processo, a denominação de lagoas aeradas facultativas.

C – Lagoas de estabilização

A definição mais freqüente utilizada para lagoas de estabilização é a de que são grandes reservatórios de pequena profundidade, delimitados por diques de terra, nos quais o material orgânico presente nas águas residuárias é estabilizado por processos biológicos, portanto naturais, envolvendo principalmente algas e bactérias (COSTA, 1992 apud IPT-CEMPRE, 2000).

Os principais processos que atuam no tratamento de águas residuárias por lagoas de estabilização são:

- o efeito reservatório dá à lagoa capacidade para absorver fortes variações, tanto de carga orgânica quanto de vazões líquidas;
- sedimentação, permitindo que sólidos sedimentáveis sejam depositados no fundo da lagoa;
- estabilização da matéria orgânica presente no esgoto por bactérias anaeróbias na ausência de O₂.

As lagoas de estabilização são, geralmente, classificadas de acordo com a predominância do processo, ou seja, aeróbio e/ou anaeróbio, pelo qual o material orgânico, geralmente expresso em termos do valor da DBO, é removido (IPT-CEMPRE, 2000).

Um fator de relevante importância é a temperatura, que tem se mostrado fundamental no tratamento do chorume. Estudos têm apontado que a eficiência do tratamento está diretamente ligada à temperatura do meio líquido. Remoções maiores que 90% da carga orgânica, medidas em termos de DBO ou DQO, foram verificadas em chorumes detidos em condições anaeróbias por cerca de 10 dias com temperaturas na faixa de 23 a 30 °C (IPT-CEMPRE, 2000).

As lagoas de maturação são também um importante meio de extermínio de microorganismos patogênicos que, segundo o IPT-CEMPRE (2000), age por meio de ação aeróbia, isso porque a remoção da maior parte da carga orgânica do afluente no sistema é efetuado pelos métodos procedentes que, normalmente, são lagoas aeróbias e/ou facultativas – sendo sua principal função destruir organismos patogênicos.

Em estudos feitos por Costa (1992 apud IPT-CEMPRE 2000), apontou-se que o pré-tratamento anaeróbio de águas residuárias é tão vantajoso que a primeira consideração em projetos de lagoas em séries deve ser sempre incluir a possibilidade de pré-tratamento anaeróbio.

Ainda conforme apresenta Costa (1992 apud IPT-CEMPRE 2000), as lagoas podem ser projetadas para algumas das finalidades abaixo:

- diminuir a concentração de material orgânico biodegradável;
- oxidar a amônia remanescente para nitrato;
- diminuir a concentração de sólidos suspensos;
- diminuir a concentração de nutrientes solúveis.

De um modo global, as lagoas de maturação são rasas, com profundidades que variam na faixa de 1,2 a 1,5 m, o que é feito com o propósito de manter suas condições aeróbias; a vantagem adicional é a remoção de vírus, indiscutivelmente melhor nas lagoas rasas do que nas profundas (IPT-CEMPRE, 2000).

As lagoas de maturação, freqüentemente, são projetadas com a mesma profundidade das lagoas facultativas a que estão associadas, devido às duas principais funções das mesmas que, de acordo com o (IPT-CEMPRE, 2000), são:

- somo são menos turvas que outras lagoas, a luz solar pode penetrar até o fundo das lagoas, favorecendo o desenvolvimento de algas e bactérias cianofíceas que, por meio de atividades fotossintéticas, produzem oxigênio;
- suas cargas orgânicas são mais baixas que aquelas aplicadas às lagoas facultativas; portanto, menos oxigênio é requerido para a degradação aeróbia da matéria orgânica.

O número de lagoas de estabilização em série é geralmente determinado pelo grau de tratamento que se deseja alcançar e pelas seções alternativas de tempo de detenção que permitem ao projetista definir as mais adequadas combinações quanto ao número de lagoas (IPT-CEMPRE, 2000).

Estudos realizados por Costa (1992) apud (IPT-CEMPRE 2000) concluíram que o efluente final de uma série de lagoas apresentava melhor qualidade do que um sistema representado por uma única lagoa de mesma área, em virtude de uma série de lagoas se aproximarem, no conjunto, da função de um reator de carga não dispersa que é, comprovadamente, mais eficaz do que um reator de carga totalmente dispersa.

A possibilidade de combinação de diferentes tipos de lagoas permite observar melhor o comportamento de cada um em relação ao conjunto, sendo possível, com isso, delinear seus campos de atuação com mais perfeição. Tal arranjo proporciona um aumento na eficiência do conjunto, quando comparado a uma única unidade, principalmente na remoção de organismos patogênicos existentes nas águas residuárias (IPT-CEMPRE, 2000). Essas particularidades têm sido sumariamente importantes, principalmente se for levado em conta o destino final que deve ser dado ao efluente e os problemas que esse lançamento poderá acarretar ao corpo receptor.

Em decorrência da fundamental importância de uma série de lagoas, incluindo unidades de maturação na remoção de organismos patogênicos, considera-se uma verdadeira falha de um engenheiro o projeto e a construção de um sistema constituído por uma única lagoa para o tratamento de águas residuárias (IPT-CEMPRE, 2000).

D – Reator ou Disgestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

O *reator de fluxo ascendente* é um sistema de tratamento anaeróbio de grande potencial de aplicação no tratamento de chorume. Um grande número de sistemas em escala real está em operação no tratamento de efluentes com altas cargas orgânicas. Dessa forma, a aplicabilidade ao tratamento de chorume apresenta-se como alternativa privilegiada, principalmente devido à pequena área requerida, ao baixo custo de implantação e à relativa simplicidade de operação (IPT-CEMPRE, 2000).

Nesse processo de tratamento biológico, o dispositivo mais característico do sistema é o separador de fases. Este dispositivo é colocado no reator e o divide em uma parte inferior ou zona de digestão, onde há um leito ou manta de lodo, responsável pela digestão anaeróbia, e uma parte superior ou zona de sedimentação.

No funcionamento do sistema, a água residuária entra pelo fundo do reator anaeróbio e segue uma trajetória ascendente, passando pela zona de digestão; depois desse ponto, atravessa uma abertura existente no separador de fases e entra na zona de sedimentação. Quando a água residuária entra no reator, ocorre a mistura do material orgânico nela presente, o lodo anaeróbio da zona de digestão, propiciando, então, a digestão anaeróbia, o que resulta na produção de biogás e no crescimento de lodo (IPT-CEMPRE, 2000).

O líquido escoar no sentido ascendente e passa pelas aberturas que existem no separador de fases para a parte superior do reator. Devido à forma do separador de fases, a área disponível para o escoamento ascensional do líquido, na parte superior, aumenta à medida que o líquido se aproxima da superfície de água. Em consequência, a velocidade do líquido diminui. Desse modo, flocos de lodo são arrastados e passam pelas aberturas do separador de fases, seguindo para a parte superior do reator, onde encontra uma zona sem grandes turbulências. Nessa zona, é possível que a velocidade de sedimentação de uma partícula se torne maior que a velocidade de arraste pelo líquido numa determinada altura. Nessas condições, a partícula acabará sendo depositada sobre a superfície inclinada do separador de fases. Quando uma massa suficientemente grande de sólidos for acumulada, o peso aparente desses sólidos se tornará maior que a força de atrito, de modo que os sólidos deslizem, entrando novamente na zona de digestão, na parte inferior do reator (IPT-CEMPRE 2000),

Portanto, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, quanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis (IPT-CEMPRE, 2002).

As bolhas de biogás que se formam na zona de digestão sobem na fase líquida até encontrar uma interface líquido-gás presente abaixo do separador de fases. Nessa

interface, as bolhas se desprendem, formando uma fase gasosa; flocos de lodo, eventualmente aderidos às bolhas, podem subir até a interface, mas após o desprendimento do gás tenderão a se decantar para novamente fazer parte da massa de lodo na zona de digestão.

As bolhas de gás que se formam em posições situadas na projeção vertical, abaixo das aberturas do separador de fases (necessário para o escoamento da fase líquida para a parte superior do reator), precisam ser desviadas para evitar que passem pelas mesmas aberturas, criando turbulências na zona de sedimentação. Para tanto, são colocados obstáculos que funcionam como defletores de gás abaixo da aberturas (IPT-CEMPRE, 2000).

O processo anaeróbio por RAFA de manta de lodo apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, principalmente quando aplicados em regiões de clima quente, como é o caso da maioria dos municípios brasileiros.

De acordo com IPT-CEMPRE (2000), o sistema apresenta as seguintes características e vantagens:

- sistema compacto, com baixa demanda de área;
- baixo custo na implantação e operação;
- baixa produção de lodo;
- baixo consumo de energia (apenas para elevatória de chegada, quando for o caso);
- eficiência satisfatória de remoção de DBO/ DQO;
- possibilidade de rápido reinício, logo após longas paralisações;
- elevada concentração do lodo excedente;
- boa capacidade de desidratação do lodo.

Embora os reatores anaeróbicos incluam amplas vantagens, principalmente no que diz respeito a requisitos de áreas, simplicidade e baixo custo de projeto, operação e manutenção, algumas desvantagens são atribuídas aos mesmos, como:

- possibilidade de emissões de maus odores;
- baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
- elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema;
- necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

Apesar das grandes vantagens dos sistemas anaeróbicos, os mesmos possuem dificuldades em produzir efluentes que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental (IPT-CEMPRE, 2000). Tal aspecto ganha relevância na medida em que o órgão ambiental estadual tem intensificado sua fiscalização e atuado efetivamente no licenciamento ambiental de novos empreendimentos no setor de saneamento.

3.3.3.2 – Recirculação do chorume

Uma técnica atual e bastante inovadora no tratamento de chorume é a recirculação do líquido para o interior do aterro sanitário, de maneira que ele possa percolar através da massa de sólidos disposta em camadas, reduzindo consideravelmente a demanda sobre as estações de tratamento, uma vez que esse pré-tratamento interno diminui as concentrações de DBO/DQO (IPT-CEMPRE, 2000).

Estudos feitos por Qasim; Chiang (1994, apud IPT-CEMPRE 2000) apontaram resultados bastante significativos a esse respeito. Na recirculação do chorume em células de aterro sanitário, esses pesquisadores observaram que, após um ano, as concentrações orgânicas diminuíram de 20.000 mg/L para 1.000 mg/L; esse resultado se

deve à função que a célula do aterro possui, ou seja, atuando como um reator anaeróbio, capaz de reduzir a elevada carga orgânica do chorume.

Uma vez que as elevadas concentrações de DBO/DQO são causadas pelos ácidos orgânicos gerados na decomposição dos resíduos sólidos no interior do aterro, uma forma de reduzir essas concentrações é o aumento da produção de metano por meio das melhorias nas condições operacionais de recirculação (IPT-CEMPRE, 2000).

Além de promover uma redução na concentração de DQO presente no chorume, a recirculação também favorece a diminuição das concentrações de DBO, COT (carbono orgânico total), ácidos voláteis, fosfatos, nitrogênio amoniacal e sólidos totais dissolvidos. Entretanto, a recirculação apresenta baixa eficiência na redução de nitrogênio e fósforo, que geralmente apresentam altas concentrações remanescentes no líquido recirculado (IPT-CEMPRE, 2000).

Para Qasim; Chiang (1994, apud IPT-CEMPRE 2000), dentre as principais vantagens apresentadas pela recirculação do chorume em aterros sanitários tem-se:

- aceleração da estabilização do aterro sanitário;
- redução assegurada dos compostos orgânicos presentes no chorume;
- possível diminuição de volume devido à evapotranspiração;
- redução nos custos envolvidos no tratamento de chorume.

No entanto, ainda de acordo com os autores citados acima, as possíveis vantagens apresentadas pela recirculação são acompanhadas das seguintes desvantagens e riscos a saúde humana:

- risco de poluição do solo e de águas subterrâneas e superficiais pela infiltração do excesso de chorume recirculado no caso de inexistência ou dano da camada impermeabilizante da parte inferior do aterro;

- os múltiplos arrastes de substâncias, ocorridos nos líquidos recirculado, podem resultar em altas concentrações de sais e metais pesados no chorume;
- custos elevados referentes à implantação e à manutenção de sistemas de recirculação;
- problemas relacionados a maus odores.

3.3.4 – Tratamento físico-químico

As cargas orgânicas, químicas e particuladas podem ser atenuadas e, em alguns casos, até eliminada por métodos físicos e químicos (IPT-CEMPRE, 2000).

Este sistema de tratamento é freqüentemente utilizado em combinações com métodos de tratamento biológico. Neste caso, sua função é eliminar particulados, componentes orgânicos refratários e espécies químicas indesejáveis no efluente final, como os metais pesados.

De acordo com Qasim; Chiang (1994, apud IPT-CEMPRE, 2000), as principais técnicas utilizadas para esse fim são diluição, filtração, adsorção/absorção, troca iônica, oxidação química, osmose reversa, lavagem com ar, ultrafiltração oxidação, evaporação natural e evapotranspiração.

A diluição age reduzindo a concentração dos componentes do chorume pela sua mistura com água. Determinados compostos, como cloretos, nitratos, carbonatos e sulfatos, são de difícil remoção e, quando presentes em grandes concentrações, exigirão a diluição do chorume previamente a seu tratamento (IPT-CEMPRE, 2000).

O uso de filtração é recomendado para diminuir a concentração de sólidos em suspensão. Geralmente, é empregada como pré-tratamento de outros tratamentos mais

caros e avançados (IPT-CEMPRE, 2000). Este sistema consiste em passar o chorume através de um leito filtrante de forma a reter partículas de tamanho médio previamente definido. Os leitos filtrantes podem ser formados por filtros ou membranas industrializadas ou por materiais como areia, terra diatomácea, antracitos etc. Os sólidos em suspensão são retidos no leito filtrante que, periodicamente, é trocado ou lavado em contra-fluxo.

As operações de coagulação, floculação, precipitação e sedimentação têm sido empregadas em conjunto com a finalidade de remover substâncias precipitadas, como metais pesados e compostos orgânicos em solução no chorume, além de partículas coloidais em suspensão. A coagulação e a floculação são operações que permitem a aglomeração de partículas muito pequenas, formando coágulos ou flocos maiores e mais cessíveis à decantação (IPT-CEMPRE, 2000).

De acordo com o (IPT-CEMPRE, 2000), a precipitação é o processo físico-químico no qual uma substância solúvel é transformada em insolúvel ou menos solúvel. As operações de coagulação, floculação e precipitação são realizadas pela adição de produtos a esta finalidade ou pela alteração das condições físico-químicas do meio, como pH e temperatura. A sedimentação é um processo físico promovido pela gravidade que age sobre as partículas superficiais ou dispersas pelo meio líquido

O uso combinado das operações citadas acima requer instalações, equipamentos e produtos químicos definidos para cada caso particular, em função dos volumes a serem tratados e da composição do chorume (IPT-CEMPRE, 2000).

2.4 – Legislação ambiental referente aos resíduos sólidos

Segundo Lima (2002), o Brasil, em 2000, ainda não dispunha de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos que definisse e reunisse normas relativas ao gerenciamento dos resíduos gerados pelas atividades urbanas e rurais. Entretanto, alguns textos regulamentares estabelecem diretrizes isoladas para certos procedimentos associados ao gerenciamento de resíduos. Estes textos foram agrupados em legislações e normas técnicas associadas, primeiramente, ao conjunto de resíduos de serviços de saúde, resíduos verdes e entulhos da construção civil.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 23, inciso VI, estabelece que a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas – inclusive a contaminação do solo por resíduos é de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.

O artigo 24, inciso VI, prevê a competência concorrente da União, dos Estados e do Distrito para legislar sobre a defesa do solo, a proteção do meio ambiente e controle da poluição. O artigo 30 estabelece, nesta matéria, que cabe aos municípios suplementar a Legislação Federal e a Estadual e promover ainda a adequação territorial mediante o planejamento e o controle do solo, do parcelamento e da ocupação do mesmo. No Artigo 25, é previsto que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida, cabendo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Dentro deste contexto, no Estado de Minas Gerais, em 2001, com a Deliberação Normativa COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001,

[...] ficam convocados os municípios mineiros para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências. Considerando que a maioria dos municípios no Estado de Minas Gerais adotam a disposição de lixo a céu aberto como forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos; que o lançamento de lixo a céu aberto provoca a degradação ambiental por causar poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar, além de provocar danos à saúde humana, pela

geração de percolados, gases e proliferação de vetores (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc); e ainda, que apenas 53 municípios são responsáveis por cerca de 50% da geração de lixo urbano no Estado; em vista disso, resolve: Art. 1º Ficam convocados para o licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos os municípios com população urbana superior a 50.000 habitantes.

No art. 2º, ficam convocados todos os municípios do Estado de Minas Gerais, no prazo máximo de 6 (seis) meses, contados a partir da data da publicação desta DN, obrigados a minimizar os impactos ambientais nas áreas de disposição final de lixo, devendo ainda implementar os seguintes requisitos mínimos, até que sejam implantados, através de respectivo licenciamento, sistemas adequados de disposição final de lixo urbano de origem domiciliar, comercial e pública:

I- disposição em local com solo e/ou rocha de baixa permeabilidade, com declividade inferior a 30%, boas condições de acesso, a uma distância mínima de 300 m de qualquer curso de água ou qualquer coleção hídrica e de 500m de núcleos populacionais, fora de margens de estradas, de erosões e de áreas de preservação permanente;

II- sistema de drenagem pluvial em todo o terreno de modo a minimizar o ingresso das águas de chuva na massa de lixo aterrado;

III- compactação e recobrimento do lixo com terra ou entulho, no mínimo, três vezes por semana;

IV- isolamento com cerca complementada por arbustos ou árvores que contribuam para dificultar o acesso de pessoas e animais;

V – proibição da permanência de pessoas no local para fins de catação de lixo;

VI - responsável técnico pela implementação e supervisão das condições de operação do local, com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica.

A Lei Federal 9.605 (lei de crimes ambientais), de 12 de fevereiro de 1998, e o Decreto 3.179, de 21 de setembro de 1999, dispõe sobre a especificação das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Dentre outras estabelece uma pena de um a cinco anos de reclusão para o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, que não estiverem nos padrões estabelecidos em leis ou regulamentos. Está prevista também uma pena de um a quatro anos de reclusão e multa para quem produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósitos ou usar produtos ou substâncias tóxicas, perigosas ou nocivas

à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou em regulamentos.

Essa lei passa a vigorar acrescida do disposto constante na medida provisória 1.874-17, de 23 de novembro de 1999.

Para efeito desta resolução, considera-se impacto ambiental:

[...] 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 sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais, art. 1º.

A legislação ambiental brasileira exige para empreendimentos de significativos impactos ambientais, estudos detalhados do empreendimento, bem como seus impactos e respectivas alternativas mitigadoras dos impactos gerados. Para tal, são necessárias a elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e a apresentação do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), regulamentados, em nível federal, pela resolução CONAMA 001, de 23 de janeiro de 1986 (BASTOS et al., 2002).

Esta referida resolução regulamentou, ainda, a elaboração de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e o respectivo Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) para 16 categorias de projetos que possam ser instalados ou ampliados, além de estabelecer que as autoridades estaduais podem também exigir a apresentação desses documentos para outros projetos que considerem relevantes (art. 2º).

Para o licenciamento, estão obrigados para os referidos estudos as atividades constantes do artigo 2º dessa resolução, na qual se incluem aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos.

As atividades de competência federal, por lei amparada pelo art. 3º, igualmente deverão ser submetidas à apreciação pelo IBAMA. O art. 4º menciona ainda que:

Os órgãos setoriais (de nível estadual) do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, deverão compatibilizar os processo de licenciamento com etapas de planejamento de implantação das atividades modificadoras do ambiente.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 07, de 29 de setembro de 1981, que fixa normas para a disposição de resíduos no solo, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 5º da lei nº 7.772, de 08 de setembro de 1980 e o artigo 41 do Decreto nº 21.228 de 10 de março de 1981, está resolvido:

Resolve:

Art. 1º - É proibido depositar; dispor; descarregar; enterrar; infiltrar ou acumular no solo resíduos de qualquer natureza, ressalvado o disposto no artigo 2º desta Deliberação.

Art. 2º - O solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito em propriedades públicas ou particulares.

E na Deliberação Normativa COPAM nº 75, de 25 de outubro de 2004 em seu Art. 1º - fica convocado ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos a que se refere o art. 1º, da Deliberação Normativa COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001 todos os municípios mineiros com população urbana entre 30.000 e 50.000 habitantes, com base nos dados do censo IBGE do ano 2000.

Dessa forma, observa-se que as leis, decretos e resoluções são bem claras no que se refere às responsabilidades dos Estados, Distrito Federal e dos municípios brasileiros, ficando a cargo dos órgãos ambientais a fiscalização das atividades de cunho ambiental.

Mesmo diante de todas estas “leis”, o município de Uberlândia parece ignorar a situação das áreas degradadas não só pela disposição dos resíduos sólidos urbanos em áreas degradadas pelos processos erosivos, mas também pela degradação ambiental de mananciais hídricos que “drenam” a malha urbana do município.

2.6 – Água: sua importância e mecanismos de contaminação

A água é estratégica para a existência de todos os seres da terra. Apesar de abundante, uma vez que ocupa $\frac{3}{4}$ da superfície do planeta, cerca de 97% é salgada; dos restantes 3%, 2,2% encontra-se nas calotas polares e em geleiras, não sendo, portanto, disponíveis para a utilização. O que sobra, cerca de 8% encontra-se no subsolo (aproximadamente 97%), constituindo os aquíferos subterrâneos, apenas uma pequena parcela (aproximadamente 3%) localiza-se em superfície, formando os lagos e rios (CARVALHO, 2001).

De acordo com Lima et al. (2002), a qualidade das águas superficiais está relacionada diretamente ao uso da água e às atividades realizadas pelo homem. A contaminação dos corpos d’água afeta diretamente a saúde pública e coloca em risco a vida de centenas de espécies de animais, que vivem nesses ambientes aquáticos ou que fazem uso dessa água para a sobrevivência.

Todas as águas que ocorrem na natureza contêm substâncias dissolvidas e em suspensão. O conceito de poluição da água é apresentado como uma mudança na qualidade da água que a torna menos apropriada para o uso do que originalmente era (HENNIGAN, 1973).

De forma geral, a poluição das águas decorre da adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem as características físicas e químicas do corpo d’água. De uma maneira, torna-se necessário ressaltar a existência de duas formas distintas pelas quais as águas poluídas atingem um determinado corpo receptor.

A primeira, denominada fonte ou poluição pontual, refere-se, como o próprio nome esclarece, à poluição decorrente de ações modificadoras localizadas. É o caso, por exemplo, do lançamento de resíduos de uma estação de tratamento de esgoto ou industrial, ou mesmo a saída de um tronco coletor de esgotos domésticos sem tratamento. A segunda, poluição difusa, se dá pela ação das águas da chuva ao carrearem a poluição nas suas diversas formas espalhadas sobre a superfície do terreno (urbano ou não) para os corpos receptores. A poluição difusa alcança os rios, lagos etc., distribuída ao longo das margens, não se concentrando em um único local como é o caso da poluição pontual.

Já outro grave problema que acompanha a poluição é a contaminação da água, que é um dos principais problemas ambientais da atualidade; de modo semelhante, a maior parte das outras formas de contaminação ambiental tem origem no crescimento e no desenvolvimento urbano das últimas décadas. Segundo Hennigan (1973), é o resultado de qualquer adição ao ciclo natural da mesma, que altere sua qualidade a grau tal que se restrinja ou impeça sua utilização normal. A palavra contaminação é bem mais restrita ao uso da água, diretamente como alimento e não como ambiente.

Em latim, *contaminare* significa mesclar, manchar, isto é, tornar-se diferente do que era originalmente (BRANCO, 1972). Em sentido prático, a contaminação seria causada por algo que, misturado à água, a torna diferente e nociva: um veneno ou uma bactéria patogênica, como exemplo. A saúde do homem não é afetada por alterações ecológicas ocorridas na água, pois esta não constitui o seu ambiente, mas sendo afetada por elementos misturados e transportada pela água. O mesmo autor menciona ainda que, se esses elementos possuem ao mesmo tempo uma ação seletiva em relação aos organismos aquáticos, eles são fatores de poluição e de contaminação; caso contrário, são apenas contaminantes. O processo de contaminação é um processo passivo. O lançamento de substâncias que sejam diretamente nocivas à saúde do homem ou de animais e vegetais que consomem essa água, independentemente do fato de estes viverem ou não no ambiente aquático constitui contaminação. Assim, a presença de seres patogênicos ou de substâncias tóxicas está compreendida neste contexto.

As principais fontes responsáveis pela degradação dos recursos hídricos, segundo Lima et al. (2002), estão relacionados com o crescimento demográfico, os impactos produzidos pelas indústrias devido à expansão econômica, o aumento das áreas agrícolas e o consequente impacto causado pelo uso excessivo e irregular dos agrotóxicos e fertilizantes, a ocupação irregular do solo, a falta de tratamento sanitário do lixo, a falta ou insuficiência de saneamento básico que permita a poluição pelo esgoto *in natura* e resíduos sólidos oriundos das cidades e, finalmente, a visão imediatista das políticas públicas e a falta de conscientização do problema existente.

No entanto, tais causas podem ser minimizadas se a população for conscientizada sobre a importância da utilização adequada da água e medidas sejam adotadas para a proteção dos mananciais hídricos. Porém, para que isso ocorra são necessárias medidas como: estudar e adotar um gerenciamento adequado com a observância das peculiaridades regionais e de ocupação do solo, manter os equipamentos em bom estado para se evitar desperdícios, aproveitar racionalmente os recursos hídricos, incentivar o reuso e o reciclo da água, fomentar intercâmbios internacionais em vista da existência de bacias hidrográficas que se estendem por outros países, celebrar parcerias entre Municípios e Estados no gerenciamento dos recursos hídricos, entre outros.

Com referência às águas subterrâneas, estas também estão ameaçadas de contaminação, pois as águas de chuva podem dissolver e transportar muitos elementos e compostos retidos nos solos para os corpos d'água subterrâneos. Desse modo, os depósitos de lixo urbano e de resíduos industriais perigosos e os agrotóxicos usados em larga escala na agricultura representam uma das principais formas de contaminação dos solos e, consequentemente, das águas subterrâneas e superficiais (LIMA et al., 2002).

Segundo Strobbe (1971), os diversos contaminantes diferem notadamente quanto a seu comportamento no subsolo. Muitos deles se decompõem ou se dissolvem nos materiais da "terra", e quase todos perdem parte de seu potencial ao diluir-se na água subterrânea. Existe uma tendência muito definida e evidente que faz com que os contaminantes se dispersem ao diluir-se. Posto que as concentrações de alguns contaminantes somente diminuem por dissolução, por exemplo, cloros, nitratos e outros elementos menos

freqüentes, são difíceis de prever as concentrações em lugares e momentos específicos.

A potência de muitos contaminantes diminui com o tempo, já outros se reduzem por aeração acima do nível freático. As concentrações de contaminantes como os radionúclídeos diminuem com o tempo, dependendo dos elementos envolvidos e de suas respectivas vidas médias. A sobrevivência de alguns vírus é provavelmente muito curta, ainda que não se há determinado com exatidão a persistência dos vírus no subsolo.

O grau de retenção dos contaminantes nos materiais do solo depende da natureza dos contaminantes e dos materiais de retenção. Muitos dos radioisótopos mais persistentes são catiônicos que tendem a intercambiar-se com os materiais catiônicos dos materiais argilosos (THOMAS, 1958 citado por STROBBE, 1973). Em geral, as argilas têm uma maior capacidade de absorção do que as areias, o que resulta em uma relação inversa entre os fatores de absorção e permeabilidade.

A crescente demanda por água potável tem crescido substancialmente nas últimas décadas, sendo que em algumas regiões do globo a água se tornou palco de disputas armadas, no caso pode-se citar alguns países do Oriente Médio. Em meados de 1980, tinha-se conhecimento de que cerca de 185 milhões de pessoas contavam com alguma forma de abastecimento de água adequada. Algumas cidades, por não possuírem outras fontes de abastecimento de água utilizam exclusivamente as águas subterrâneas. Na Cidade do México e em Lima, por exemplo, as águas subterrâneas contribuem com a maior porcentagem de águas disponíveis para o consumo, cerca de 94%. As águas subterrâneas, por apresentarem um custo de produção relativamente baixo e normalmente de excelente qualidade natural, tem sido suficientes para justificar sua exploração para o abastecimento de água potável em grande parte das cidades, inclusive em países tropicais. Além do abastecimento público (cidades), as águas subterrâneas estão ampla e intensamente sendo exploradas para o suprimento de áreas rurais, devido ao que normalmente as mesmas constituem o recurso mais econômico e seguro (FOSTER et al., 1987).

Em vista de sua importância, tanto para o abastecimento urbano quanto para o rural, poder-se-ia pensar que se tem dado bastante atenção à proteção dos aquíferos na tentativa de se prevenir a deterioração da qualidade das águas subterrâneas, particularmente nas áreas urbanas e em seus arredores (FOSTER et al., 1987), especialmente se se considerar que:

- a) a prática de disposição no solo de efluentes domésticos e industriais não são tratados e cada dia mais são difundidos devido ao custo excessivamente elevado de soluções alternativas;
- b) os efeitos potencialmente nocivos sobre a saúde humana, associada à contaminação das fontes de águas subterrâneas, com os lentos e conseqüentes incrementos; que são, porém, muito persistentes, na concentração de contaminantes;
- c) a recuperação dos aquíferos contaminados quase sempre resulta em uma operação custosa e lenta; e que isso pode, com freqüência, resultar em uma recuperação impraticável, conduzindo ao abandono de poços;
- d) as fontes de abastecimento de água, uma vez contaminadas, o tratamento de águas subterrâneas resultará em um elevado custo porque cada uma das numerosas fontes dispersas produz pequenos volumes, tendo que ser tratada individualmente.

No entanto, segundo Foster et al. (1987), por um sem números de razões, a proteção dos aquíferos ainda não tem recebido a merecida consideração. Em primeiro lugar, a migração dos contaminantes desde a superfície até os aquíferos tende a ser um processo lento em muitos aquíferos e pode demorar muitos anos, inclusive décadas, antes que o impacto total de uma contaminação causada por um ou vários contaminantes persistentes seja notório nas fontes de abastecimentos de águas subterrâneas.

Em segundo lugar, a falta de ação resulta de dificuldades significativas associadas à amostragem adequada das águas subterrânea e à restringida e mal orientada capacidade

analítica dos laboratórios, provocando, dessa forma, a ausência de um sistema rotineiro de monitoramento para contaminantes, tais como os patógenos, nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos sintéticos (FOSTER et al., 1987).

2.4.1 – Padrões de qualidade para águas naturais e limites para o lançamento de efluentes

Devido principalmente à implantação progressiva de atividades econômicas e ao adensamento populacional de forma desordenada, a ação antrópica vem ocasionando crescentes impactos sobre os recursos hídricos, provocando reflexos tanto no regime hidrológico quanto na qualidade e na quantidade das águas disponíveis para consumo humano. A poluição das águas tem como origem diversas fontes associadas ao tipo de uso e ocupação do solo, dentre as quais destacam-se:

- efluentes domésticos;
- efluentes industriais;
- carga difusa urbana e agrossilvipastoril;
- mineração;
- natural;
- acidental, entre várias outras formas de contaminação¹.

Desde 1934, conforme o Decreto Federal de nº 24. 643, de 10 de julho de 1934, referente ao código das águas, tem havido preocupação quanto à qualidade e à disponibilidade dos recursos hídricos. Em seu capítulo VI, art. 109º, esta lei preconiza que “a ninguém é lícito compuscar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros”. E em seu art. 110º preconiza que os trabalhos para a salubridade

¹ Cf. <http://www.igam.mg.gov.br>.

das águas serão executados à custa dos infratores, que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas que lhes forem impostas nos regulamentos administrativos.

Em face à preservação e à qualidade dos corpos hídricos, foi instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da Resolução Conama de nº 357, de 17 de Março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água, particularmente em seu capítulo II, art. 3º, que as águas doces, salobras e salinas do território nacional são classificadas segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em 13 classes de qualidade; no entanto, menciona-se nesta dissertação apenas as classes referentes à água doce:

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes. No Art. 4º, as águas doces são classificadas em cinco classes, entre elas a classe II na qual se inclui o recurso hídricos da área pesquisada.

As águas da **classe 2: são as águas que podem ser destinadas:**

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

No capítulo III, a Resolução Conama nº 274, de 2000, discorre sobre as condições e padrões de qualidade das águas. Em seu Art. 7º parágrafo único, preconiza que eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não na citada resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como restringir os usos

preponderantes previstos, ressalvando o disposto no §3º do art. 34, da referida Resolução. No art. 8º, define:

[...] o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo poder público.

§ 1º Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade.

§ 2º Os resultados do monitoramento deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas de medição consideradas.

§ 3º A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas.

§ 4º As possíveis interações entre as substâncias e as presenças de contaminantes são listadas nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos.

§5º Na hipótese dos resultados referidos no parágrafo anterior tornarem-se necessários em decorrência da atuação de empreendedores identificados, as despesas da investigação correrão as suas expensas.

De acordo com Carvalho (2001), a qualidade da água pode ser representada por meio de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros podem ser de utilização geral para caracterizar água de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores.

Segundo a Resolução Conama de nº 357, de Março de 2005, Art. 14, as águas doces de classe I e II obedecerão aos seguintes padrões e condições de potabilidade:

I – condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência,

por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaios ecotoxicológicos padronizados ou outro método científico reconhecido.

b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substancias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser estabelecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliforme termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) DBO 5 dias a 20°C até 3mg/L O₂ ;

i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂;

j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);

k) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e

l) pH: 6,0 a 9,0.

De acordo com a Resolução Conama nº 357, os padrões de qualidade das águas são definidos por elementos químicos que são agrupados parâmetros químicos, físicos e biológicos.

Para auxiliar na interpretação da qualidade das águas são estabelecidos vários parâmetros, entre os quais os parâmetros físicos como cor, turbidez, sabor, odor e temperatura. Os químicos são Ph (acidez e alcalinidade), dureza, metais, cloretos, nitrogênio (nutrientes), fósforo (nutrientes), oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes orgânicos e micropoluentes inorgânicos como os metais pesados (zinco, cádmio etc). Finalmente, os parâmetros biológicos são analisados sob o ponto de vista de organismos indicadores de poluição, como algas e bactérias.

Para melhor compreensão das finalidades de utilização de alguns destes parâmetros, faz-se a seguir, um breve esclarecimento sobre cada um:

2.4.1.1 – Dureza

A dureza da água é comumente avaliada pela quantidade de sabão necessária para que se produza espuma na mesma. Poderia ser definida como sendo a propriedade de dissipar o sabão, visto que em uma água “dura” a espuma não se produzirá enquanto os sais minerais causadores da “dureza” não houverem sido removidos pela sua combinação com o sabão. A matéria removida torna-se evidente pela espuma insolúvel que forma durante os processo de lavagem (CARVALHO, 2001).

Não há evidências de que a dureza cause problemas de potabilidade à água; todavia, em determinadas concentrações, pode causar sabor desagradável e ter efeitos laxativos para seres humanos.

2.4.1.2 – Alcalinidade

É a quantidade de íons na água que reagirá para neutralizar os íons hidrogênio. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos. As origens naturais da alcalinidade são a dissolução de rochas e as reações do dióxido de carbono (CO₂), resultantes da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica com a água. Além desses, os despejos industriais são responsáveis pela alcalinidade nos cursos d’água. Esta variável deve ser avaliada por ser importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações².

² Cf. http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/param_fisicos.htm).

2.4.1.3 – Sólidos

A concentração total dos minerais dissolvidos na água serve como índice geral da utilização da água para inúmeros usos³. As expressões “sólidos dissolvidos totais” e “sólidos dissolvidos” são sinônimos.

A concentração de sais nas águas subterrâneas varia em função de fatores tais como a concentração inicial nas águas que percola do solo o que, por sua vez, varia com a qualidade da água da chuva, temperatura, evaporação etc.

A água com demasiado teor de minerais dissolvidos não é conveniente para certos usos. Contendo menos de 500 mg/l de sólidos dissolvidos é, em geral, satisfatória para usos domésticos e para muitos fins industriais (CARVALHO, 2001).

2.4.1.4 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Ainda como lembra Carvalho (2001), o pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em conseqüência, a alteração brusca do pH de uma água pode acarretar no desaparecimento dos seres presentes na mesma. A faixa de pH é de 0 a 14.

Um pH igual a 7,0 indica uma solução neutra, nem ácida, nem alcalina. Se for menor que 7,0, indica uma condição ácida; maior que 7,0 corresponde a uma solução alcalina. Os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para a corrosão do sistema de distribuição de água, ocorrendo, assim, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio, e dificultar a descontaminação das águas.

³ Cf. http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/param_fisicos.htm.

2.4.1.5 – Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos⁴. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Por meio da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Observa-se que os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática.

2.4.1.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas, isto é, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg/l, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. Um período de tempo de cinco dias a uma temperatura de incubação de 20° C é freqüentemente usado e referido como DBO 5,20.

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica em um corpo de água induzirá à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da micro-flora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizadas nas estações de tratamento de água⁵.

⁴ Cf. <http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=dicionario.htm>.

⁵ Cf. <http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=dicionario.htm>.

2.4.1.7 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, orientando o teste da DBO. A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO em um corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial⁶.

2.4.1.8 – Nitrogênio na forma de Nitrato

O Nitrogênio na forma de nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas⁷. Concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrogênio nitrato são dejetos humanos e animais. Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem na presença destes e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado, processo denominado de eutrofização.

2.4.1.9 – Nitrogênio na forma de Nitrito

O nitrogênio na forma de Nitrito é uma forma química do nitrogênio, normalmente encontrada em quantidades diminutas nas águas superficiais, pois o nitrito é instável na presença do oxigênio, ocorrendo como uma forma intermediária⁸. O íon nitrito pode ser

⁶ Cf. <http://www.ambientebrasil.com.br/qualidade.html>.

⁷ Cf. <http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>.

⁸ Cf. <http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>.

utilizado pelas plantas como uma fonte de nitrogênio. A presença de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica.

2.4.1.10 – Nitrogênio Amoniacal (NH_3)

É uma substância tóxica não persistente e não cumulativa e sua concentração normalmente é baixa, não causando nenhum dano fisiológico aos seres humanos e aos animais, porém grandes quantidades de amônia podem causar sufocamento de peixes. A concentração total de Nitrogênio é altamente importante, considerando-se os aspectos tópicos do corpo d'água. Em grandes quantidades o Nitrogênio contribui como causa da metemoglobinemia (síndrome do bebê azul).

O íon amônio (NH_4^+) é muito importante para os organismos produtores, especialmente porque sua absorção é energeticamente mais viável. Para este íon, não há necessidade de redução no interior da célula, como ocorre com o nitrato (outra forma de nitrogênio encontrado na água). O nitrato é a maior fonte de nitrogênio para os vegetais aquáticos (plantas superiores e algas microscópicas).

Altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas, como influenciar na quantidade do oxigênio dissolvido na água, uma vez que para oxidar 1,0 miligramas do íon amônio são necessários cerca de 4,3 miligramas de oxigênio. Outra forma de ação pode ser em pH básico (alcalino), onde este íon se transforma em gás amônia (NH_3 livre, gasoso), que, dependendo da concentração, pode ser tóxico para os peixes. Portanto, quando se encontra muito nitrogênio amoniacal na água pode-se dizer que esta é pobre em oxigênio dissolvido e que o ambiente provavelmente tenha muita matéria orgânica em decomposição⁹.

⁹ Cf. http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt9.html#nitro.

2.4.1.11 – Fósforo total

O fósforo é originado naturalmente da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica. A origem antropogênica é oriunda dos despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. A presença de fósforo nos corpos d'água desencadeia o desenvolvimento de algas ou outras plantas aquáticas desagradáveis, principalmente em reservatórios ou águas paradas, podendo conduzir ao processo de eutrofização; por outro lado, o fósforo é um nutriente fundamental para o crescimento e multiplicação das bactérias responsáveis pelos mecanismos bioquímicos de estabilização da matéria orgânica¹⁰.

2.4.1.12 – Fenóis

Os fenóis são compostos orgânicos, oriundos, nos corpos d'água, principalmente dos despejos industriais¹¹. São compostos tóxicos aos organismos aquáticos já em concentração bastante baixa, e afetam o sabor dos peixes e a aceitabilidade das águas. Para os organismos vivos, os compostos fenólicos são tóxicos protoplasmáticos, apresentando a propriedade de combinar-se com as proteínas teciduais. O contato com a pele provoca lesões irritativas e após a ingestão podem ocorrer lesões cáusticas na boca, faringe, esôfago e estômago, manifestadas por dores intensas, náuseas, vômitos e diarreias, podendo ser fatal. Após a absorção, tem ação lesiva sobre o sistema nervoso, podendo ocasionar cefaléia, paralisias, tremores, convulsões e coma.

¹⁰ Cf. <http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>.

¹¹ Cf. <http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>.

2.4.1.13 – Cloretos

Em menor ou maior escala, as águas naturais contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os íons cloretos são advindos da dissolução de sais. Um aumento no teor de cloretos na água é indicador de uma possível poluição por esgotos (por intermédio de excreção de cloreto pela urina) ou por despejos industriais. Os cloretos aceleram os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água¹².

Já os metais pesados são micropoluentes inorgânicos, provenientes, na sua maioria, de efluentes industriais, sendo geralmente tóxicos. Os metais pesados, além de serem tóxicos, são cumulativos no organismo e podem provocar diversos tipos de doenças no ser humano, com a ingestão de pequenas doses por determinados períodos (MUNÕZ, 2002).

Os principais metais pesados presente nas águas em forma dissolvida são cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, níquel e zinco. A seguir são descritas as principais características de alguns metais pesados.

A – Cádmio (Cd)

O cádmio possui uma grande mobilidade em ambientes aquáticos; é bioacumulativo e persistente no ambiente, acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar. Está presente em águas doces em concentrações com traços, geralmente, inferiores a 1 mg/L. Pode ser liberado para o ambiente por meio da queima de combustíveis fósseis e também é utilizado na produção de pigmentos, bactérias, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, acessórios fotográficos, praguicidas etc. O cádmio é um subproduto da mineração do zinco. O elemento e seus compostos são considerados potencialmente carcinogênicos e pode ser fator para vários processos

¹² Cf. http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt9.html#nitro.

patológicos no homem, incluindo disfunção renal, hipertensão, arteriosclerose, doenças crônicas em idosos e câncer¹³.

B – Chumbo (Pb)

Em sistemas aquáticos, o comportamento de compostos de chumbo é determinado principalmente pela hidrossolubilidade. Concentrações de chumbo acima de 0,1 mg/L inibem a oxidação bioquímica de substâncias orgânicas e são prejudiciais para os organismos aquáticos inferiores. Concentrações de chumbo entre 0,2 e 0,5 mg/L empobrecem a fauna e, a partir de 0,5 mg/L, a nitrificação é inibida na água.

A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes, além da sua utilização como aditivo anti-impacto na gasolina. O chumbo é uma substância tóxica cumulativa. Uma intoxicação crônica por este metal pode levar a uma doença denominada saturnismo, que ocorre na maioria das vezes, em trabalhadores expostos ocupacionalmente. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória, entre outros. Quando o efeito ocorre no sistema periférico o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda, é caracterizada pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastro-intestinal, vômitos e diarreias. (MUNÔZ, 2002).

C – Cromo (Cr)

O cromo está presente nas águas nas formas tri e hexavalente. Na forma trivalente o cromo é essencial ao metabolismo humano e, sua carência, causa doenças. Já na forma hexavalente é tóxico e cancerígeno; sendo assim, os limites máximos estabelecidos

¹³ Cf. http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt9.html#nitro.

basicamente em função do cromo hexavalente. Os organismos aquáticos inferiores podem ser prejudicados por concentrações de cromo acima de 0,1 mg/L, enquanto o crescimento de algas já está sendo inibido no âmbito de concentrações de cromo entre 0,03 e 0,032 mg/L. O cromo, como outros metais, acumula-se nos sedimentos. É comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na produção de alumínio anodizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel e fotografia¹⁴.

Estes parâmetros são geralmente analisados e comparados com os padrões e limites aceitáveis pelos órgãos ambientais, que no Estado de Minas Gerais é gerenciado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) e são de fundamental importância para conduzirem estudos que visem à caracterização da qualidade das águas no Estado e em empreendimentos a serem licenciados.

Na definição da qualidade de um corpo hídrico, os elementos citados acima são ensaiados e quantificados de forma a serem comparados aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Dessa forma, as amostras de águas ensaiadas são analisadas e comparadas com os limites estabelecidos pela Resolução, sendo um indicador básico quanto à qualidade de um recurso hídrico.

2.5 – Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos

2.5.1 – Transformação de lixão em aterro sanitário

Os projetos de recuperação de áreas degradadas pela disposição indiscriminada de resíduos sólidos urbanos têm sido a transformação dos chamados “lixões” em aterros controlados ou preferencialmente em aterros sanitários (IPT-CEMPRE, 1995).

¹⁴ Cf. <http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>.

Um dos primeiros passos é a realização de um diagnóstico detalhado da situação em que se encontra a área a ser remediada, exigindo, na maioria das vezes, a necessidade de projetos técnicos ambientais e de engenharia para as etapas a serem cumpridas de acordo com um determinado espaço de tempo. Deve-se levar em consideração a ordem de prioridade das soluções a serem tomadas que, segundo o IPT-CEMPRE (1995), devem ser:

- **Problemas sanitários** – são aqueles que afetam diretamente à saúde pública;
- **Problemas ambientais** – são aqueles que afetam diretamente as características naturais do solo, água, ar e ainda, ocasionam direta e indiretamente impactos na fauna e flora;
- **Problemas operacionais** – são aqueles considerados como atividades inadequadas de operação na disposição do lixo, podendo afetar os aspectos sanitários e ambientais ao longo do tempo, além de proporcionar gastos elevados.

2.5.2 Problemas Sanitários

É importante que esse fator seja o primeiro a ser levado em consideração, evitando-se, principalmente, problemas à saúde pública, uma vez que o lixo pode ser um importante vinculador de doenças infecto-contagiosas e, ainda, abrigo de inúmeros animais e insetos transmissores de diversas patogeneidades. Neste contexto, as ações necessárias à sua conformação se resumem em:

- a) **Movimentação e conformação da massa de lixo:** visa à regularização mecânica do material disposto, de acordo com o projeto; neste aspecto, o lixo deve ser compactado com maquinários

apropriados para que a compactação atinja limites ideais de acordo com as especificações técnicas;

b) Eliminação de fogo e fumaça: obtido mediante cobertura do lixo (cobertura diária, intermediária e final), podendo-se utilizar o solo local ou de outras áreas previamente escolhidas;

c) Delimitação da área de operação (lixo/não-lixo): a geração de percolato é um dos principais impactos ambientais negativos em um local de disposição de resíduos; paralelamente, a pluviometria contribui para o aumento de seu volume, pois ao migrar pelo aterro a água incorpora-se ao chorume, contribuindo para a decomposição dos elementos do próprio lixo; dessa forma, fica evidente que, quanto menor for o espalhamento superficial do lixo, menor será a quantidade de percolato gerado;

d) Limpeza da área de domínio: em decorrência do exposto acima, a área que porventura não esteja sendo utilizada deverá ser limpa, permitindo menor espalhamento do lixo e condições mais adequadas de trabalho e aproveitamento do local.

2.5.3 – Problemas ambientais

Conforme o IPT-CEMPRE (2000), estes aspectos estão diretamente relacionados ao manejo do lixo, ou seja, às formas e às condições de operação diária na disposição dos resíduos sólidos no aterro.

Após a preparação da nova fase, sob condições de aterro sanitário, as áreas que já haviam recebido lixo deverão ser tratadas. Concomitantemente, deve-se planejar a melhoria das vias de acesso, considerando-se aspectos como geometria do traçado e

material adequado para o pavimento, de modo a possibilitar o trânsito de veículos sob quaisquer condições de tempo.

Segundo IPT-CEMPRE (2000), o controle da área exige medidas como a presença de vigilância contínua e implantação de cercas, para evitar a entrada de animais e de pessoas estranhas ao empreendimento, como catadores. A frente de trabalho, na área de descarga, deve ser a mínima necessária, devendo receber cobertura diária de fina camada de solo (não superior a 0,20 m, de modo a não prejudicar a vida útil do aterro). O método de manejo deverá ser definido em projeto, em função da área, dos equipamentos disponíveis e do volume diário de resíduos a ser manuseado.

Para o controle da disposição, o projeto deve prever a instalação de balança rodoviária na entrada da área do aterro. É importante que os resíduos sejam inspecionados na entrada do aterro para se evitar a entrada de materiais que não sejam compatíveis a áreas do aterro, como resíduos perigosos, que devem ser dispostos em aterro especiais, projetados para receber estes resíduos.

2.5.4 – Elaboração de projetos de adequação

Para se conseguir bons resultados nos itens descritos anteriormente, são necessários, à execução de projetos técnicos, que nos mesmos constem os critérios estabelecidos para a adequação da área do aterro de resíduos sólidos urbanos (IPT-CEMPRE 2000).

Na implementação de projetos de adequação é desejável que se detalhe o projeto de adequação do aterro de resíduos, de modo que sejam contemplados os seguintes aspectos, conforme citados pelo IPT-CEMPRE (2000):

- projeto de infra-estrutura;
- projeto geométrico de conformação das células de lixo, com respectivos sistemas de drenagem de biogás, percolados e águas superficiais;

- projeto de exploração de jazidas de solo para material de cobertura;
- projetos de áreas de descarte de solo excedente;
- projeto de operação diária/mensal do aterro sanitário, definindo-se coberturas temporárias e definitivas nas células acabadas;
- definição do tratamento superficial da cobertura do aterro, adequado ao destino final da área;
- projeto do tanque de armazenamento de percolados e sistemas de tratamento associados;
- projeto de recuperação e/ou queima de biogás;
- projeto de monitoramento geotécnicos e ambientais, incluindo piezometria, poços de amostragem, inclinômetros, marcos superficiais e controle de vazão de percolado, conforme mostra a FIGURA 2.11;
- projeto de obras complementares, incluindo edificações (escritório, refeitório, vestiário etc.), balança, cercas, defensas e guaritas.

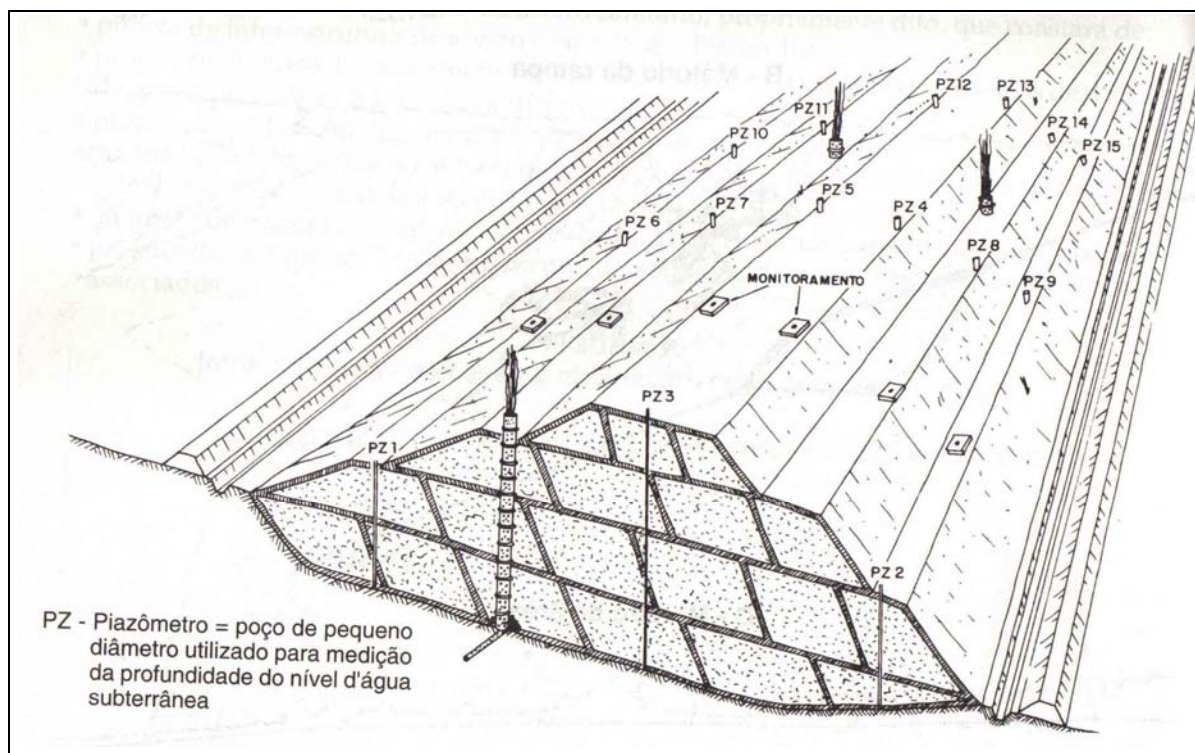


FIGURA 2.11: Esquema geral de um aterro e seus respectivos pontos de monitoramento.

FONTE: IPT-CEMPRE (2000).

2.5.5 – Dificuldades operacionais

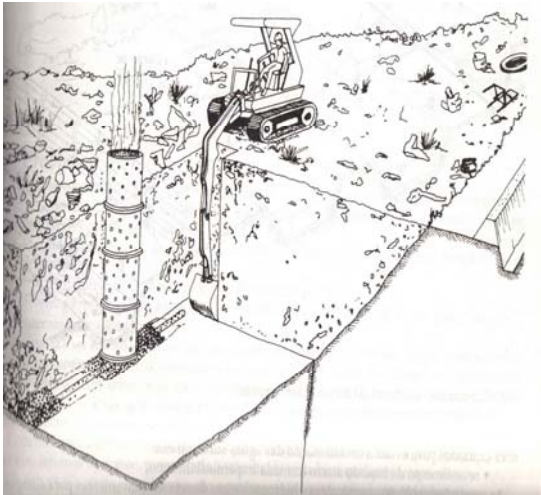
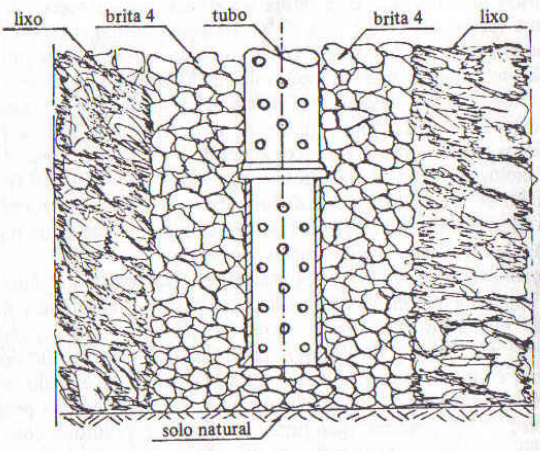
De acordo com IPT-CEMPRE (2000), esses aspectos estão diretamente relacionados ao manejo do lixo, ou seja, às formas e condições da operação diária na disposição dos resíduos sólidos no aterro. No sentido da consolidação do aterro sanitário os aspectos ambientais exigem:

- a) **drenagem de águas pluviais:** a área de contribuição de águas superficiais do aterro deve ser isolada (diques, canaletas, tubulações), de modo a evitar a entrada de água nas áreas já aterradas com o lixo; nos locais onde os níveis d'água são rasos poderão, ainda, exigir drenagem subterrânea para impedir que a água do lençol freático venha entrar em contato com o lixo e seja contaminada; outro ponto

importante a ser observado é a separação das águas superficiais (não contaminadas) das águas (contaminadas); no entanto, há a necessidade de execução de drenagens de águas pluviais sobre as que já receberam cobertura final no aterro;

b) drenagem de biogás e percolado da massa de lixo: abertura de valas e instalação de drenos por meio de equipamento adequados (retroescavadeira); deverão ser abertas valas na massa de lixo para a instalação de drenos de chorume e gases (Cf. FIGURAS 2.12 e 2.13).

Todas as drenagens de líquidos percolados devem ser direcionadas para um tanque de acumulação, para o início das operações de tratamento. O volume e as características do tanque deverão ser definidos em projeto, bem como o tipo de tratamento do percolado. No caso do biogás, recomenda-se sua queima quando lançado na atmosfera. A possibilidade de recuperação energética também pode ser avaliada, uma vez que o biogás apresenta concentrações iniciais de metano em torno de 40% (alguns meses após o aterramento), estabilizando na ordem de 60 a 65% em cerca de dois anos após o aterramento (IPT-CEMPRE, 2000).

	
FIGURA 2.12: Abertura de valas para instalação de drenos de gases e percolados.	FIGURA 2.13: Dreno de gás em perfil.
FONTE: IPT-CEMPRE (2000).	

c) coleta de chorume: todas as drenagens dos líquidos percolados devem ser direcionadas para tanques ou reservatórios para dar início as operações de tratamento (Cf. FIGURAS 2.14 e 2.15); o volume e as características do reservatório deverão ser definidas em projeto, bem como o tipo de tratamento a ser utilizado, seguindo as seguintes etapas:

- execução de sistema de coleta de chorume;
- execução de reservatório para o chorume;
- execução de sistema de tratamento de chorume.



FIGURA 2.14: Lagoa de recirculação das células.



FIGURA 2.15: Lagoa facultativa.

FONTE: <http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/chorume.html>.

d) arborização em torno da área (cinturão verde): esta etapa possui a finalidade de evitar impactos visuais negativos ao público externo e também otimizar a dispersão vertical do biogás e odores. É necessário o plantio de árvores e arbustos de pequeno e médio porte, preferencialmente nativas, para se conseguir uma barreira de isolamento compacta, desde a base até o topo, evitando-se o chamado paliteiro (típicos de barreiras vegetais construídas por eucaliptos adultos, por exemplo, que não cumprem adequadamente a função de isolamento visual).

e) cuidados para evitar a contaminação das águas subterrâneas: as novas fases do aterro, ou seja, as novas frentes de operação, deverão, na medida da necessidade local, receber na base do aterro camadas impermeabilizantes de argila, ou materiais sintéticos; na concepção da camada impermeabilizante, em nível de projeto, são especificadas as espessuras e as condições de compactação que fornecerão a permeabilidade e a proteção requerida; os materiais a serem utilizados bem como os locais de aquisição devem ser especificados (IPT-CEMPRE, 2000).

2.6 – Remediação e fechamento de lixões: ações mitigadoras

Conforme o IPT-CEMPRE (2000), os locais de disposição que tenham que ser encerrados, por motivos ambientais ou de vida útil, deverão ser tratados de maneira a minimizar eventuais impactos sanitários e ambientais instalados ou que por ventura possam surgir.

Para tanto, deverão ser definidas as ações para o término da operação e, caso necessário, para a remediação local, estabelecendo-se as prioridades para as ações que demandam menores investimentos e prazos e que atuem de maneira a minimizar ou interromper os impactos. No entanto, as ações devem ser realizadas de modo a não inviabilizar a disposição do lixo, em curto prazo, enquanto se viabilize uma nova área de disposição dos resíduos (aterro sanitário).

As ações mitigadoras a serem implementadas e, conseqüentemente, o tempo necessário para se atingir a completa inertização da massa de lixo, são variáveis, sendo função dos recursos disponíveis e da concepção do projeto adotado.

Em um lixão ou aterro sanitário que, porventura deva ser desativado, a meta é estabilizá-lo (física, química e biologicamente) e, após esta estabilização (período geralmente não inferior a 10-15 anos após encerramento da disposição do lixo), o mesmo é destinado a um uso compatível (IPT-CEMPRE, 2000).

Ainda segundo IPT-CEMPRE (2000), algumas ações são necessárias como atividades intermediárias para o fechamento de um lixão. Ações como:

- eliminação de fogo e fumaça;
- delimitação da área;
- limpeza da área de domínio;

- movimento e conformação da massa de lixo;
- cobertura final;
- drenagem das águas superficiais;
- drenagem de biogás e percolado da massa de lixo;
- coleta e tratamento do biogás e do percolado;
- monitoramento geotécnico e ambiental;
- manutenção das estruturas do aterro;
- projeto paisagístico e de uso futuro da área.

Além dessas, destacam-se as ações relativas à cobertura definitiva, que devem ser direcionadas à finalidade da área remediada. A cobertura definitiva deve ser projetada e executada de maneira a atender os requisitos de isolar o lixo do meio ambiente, impedir a infiltração de chuvas (o que aumentaria o volume do chorume) e impediria a saída não controlada de gases. A concepção de remediação deverá definir o tempo necessário para o término da geração de gases e líquidos poluentes percolados, o término das movimentações da massa de resíduos (deslocamentos horizontais e verticais) e o início da utilização projetada para o local remediado (IPT-CEMPRE, 1995). Para a utilização adequada da área, é fundamental que essa seja estável e não apresente risco à saúde e ao meio ambiente.

2.7 - Projeto de remediação do “lixão”

O antigo depósito de lixo a céu aberto do município de Uberlândia foi implantado em 1989 em uma área que apresenta intensos processos erosivos, conforme mencionado anteriormente, e sua operação foi finalizada em 1993 devido aos impactos ambientais

que a área vinha apresentando, decorrentes da disposição. O lixo foi depositado em uma das voçorocas localizadas na fazenda Douradinho, a sudoeste do município. As FIGURAS 2.16, 2.17 e 2.18 retratam a situação do local naquele período.

	
FIGURA 2.16: Voçoroca localizada na área onde foram dispostos os resíduos sólidos urbanos.	FIGURA 2.17: Voçoroca sendo entulhada gradualmente com lixo
FONTE: ASSUNÇÃO, W. L. (1998).	

Segundo Lima et al. (2002), a oferta dessa área para o poder público para servir como área de disposição final dos resíduos se caracterizava exatamente pela possibilidade do aterramento e nivelamento da área onde se encontrava a voçoroca utilizada na deposição do lixo, creditando ser essa prática uma boa solução para os processos erosivos. No entanto, a contra-indicação estava no fato de os resíduos terem sido dispostos diretamente sobre o lençol freático aflorante, no leito da voçoroca, implicando, desse modo, em contaminação potencial dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais.



FIGURA 2.18: Formas de disposição do lixo na área.

FONTE: Prefeitura Municipal de Uberlândia- PMU (1998)

Os processos erosivos tais como a voçoroca iniciam-se com a supressão da vegetação natural pela ação antrópica e, em um segundo momento, o chamado *splash erosion* ocasionado pelos impactos das gotas de chuva desagregam as partículas do solo e, conseqüentemente, por não haver resistência proporcionada pela vegetação, as partículas são arrastadas vertentes abaixo. Posteriormente, em um ciclo contínuo vão se criando sulcos no solo denominados de ravinas; estas, ao longo do tempo, vão se aprofundando até atingirem profundidades que, em alguns casos, atingem o lençol freático (FIGURAS 2.19, 2.20 e 2.21).

Os resíduos depositados nessa área eram recobertos por uma camada de terra extraída por intermédio de escavações no próprio local, o que agravava mais ainda a situação da área em relação aos processos erosivos, uma vez que os solos do local são altamente susceptíveis à erosão. O trabalho era realizado por um trator de esteira que operava de dentro da voçoroca de baixo para cima, no sentido jusante-montante, para que ocorresse a compactação dos resíduos (LIMA et al., 2002). A FIGURA 2.22 retrata bem a situação no período.



FIGURA 219: Desagregação do solo pela energia das gotas de chuva (*splash*).



FIGURA 2.20: Sulcos (ravinas) formados pelo escoamento superficial de água no solo.

FONTE: <http://images.google.com.br/imgres>.



FIGURA 2.21: Processo erosivo acelerado (voçoroca), comum na bacia do córrego dos Macacos.

FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.



FIGURA 2.22: Conformação da célula do aterro com o emprego de trator de esteira.

FONTE: PMU (1998).

Inevitavelmente, como apresenta Lima et al. (2002), havia a contaminação das águas subterrâneas pela percolação do chorume, uma vez que a voçoroca podia ter atingido seu nível de base (ou estar próximo disso) antes do entulhamento pelos resíduos e, com isso, como se trata de uma área com solos arenosos, o escoamento superficial ocorreria geralmente sobre horizontes de menor permeabilidade e maior resistência ao cisalhamento e a erosão.

Outro agravante observado na área, segundo os mesmos autores, era a exalação de forte mau cheiro, responsável pela proliferação de insetos e outros tipos de vetores transmissores de doenças. No mesmo período, o problema relativo ao forte mau cheiro pôde ser constatado numa escola localizada na zona rural, cerca de 1.500m do “lixão”, onde constatarem acentuada incidência de moscas e fortes odores carregados até o local pela ação dos ventos.

Sobre as condições do antigo aterro, em outubro de 1990, a Engenheira Química Maria Tereza mencionava que:

A operação do aterro é inadequada e incorreta. É preciso fazer algumas melhorias no local para minimizar os problemas ali existentes, o mau cheiro constante, a má cobertura do lixo, a proliferação de insetos a contaminação de ncentes de água, o

carreamento do lixo pelas águas pluviais e a formação de chorume em grande quantidade são alguns dos problemas que a área apresenta [...].

Na área, diversos tipos de lixo foram depositados e, entre eles, os lixos provenientes de indústrias e hospitais, sem qualquer distinção de seu grau de periculosidade. De acordo com Lima et al. (2002), em uma pesquisa de campo realizada na época constataram descargas clandestinas noturnas. Para se ter uma idéia da quantidade de lixo depositada no antigo “lixão”, em 1989 o lixo depositado na área era da ordem de 180 ton/dia; em 1990, 420 ton/dia; em 1991, houve uma queda significativa e se coletava cerca de 240 ton/dia (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA, 1999).

Em consequência dos impactos ambientais que a área vinha apresentando, em agosto de 1995 a prefeitura decidiu cessar os trabalhos na área do “lixão”, motivada ainda pela instalação de procedimento administrativo averiguatório por parte da procuradoria do meio ambiente que, na ocasião, alegava a contaminação das águas do córrego dos Macacos existente à jusante da área onde se localizava a voçoroca (LIMA et al., 2002).

Em face de todos estes agravantes, em 1999, de acordo com o Relatório de Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos de Uberlândia (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA, s./d.), protocolado junto à Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), sob nº 016473, a área onde os resíduos do município foram depositados sofreria uma intervenção remediadora a fim de minimizar os impactos ambientais em curso na área. Para tal, resolveu-se remediar a área adotando-se as seguintes medidas:

- aproveitar a voçoroca como células de lixo;
- moldar as células;
- instalar sistema de drenagem de chorume, do tipo espinha de peixe, e tubulação final de coleta de chorume, no fundo das voçorocas;

- empurrar o “lixo” indevidamente acondicionado a céu aberto para as células, e a cada 1,10 m de lixo, controlar com 40 cm de camada compactada de silte e saibro;
- implantar a tubulações de drenos de chorume e drenos de gases e queima de biogás;
- implantar drenos interceptores de águas pluviais;
- implantar filtro anaeróbio para tratamento do chorume;
- montar cobertura final de terra aproveitando o silte e o saibro do local;
- moldar a cobertura final “selante” com argila;
- moldar a cobertura com terra vegetal (60 cm) plantar as gramíneas da localidade;
- utilizar a área para outras finalidades, em especial áreas remanescentes que se preparada adequadamente poderia receber resíduos especiais.

Pelo exposto anteriormente, observam-se esforços, aparentemente, no que se refere à recuperação da área degradada; contudo, alguns atributos físicos não foram levados em consideração, tais como os solos da área, que apresentam teores de areia próximos a 60%, o que implica a ocorrência de intensos processos erosivos e altas taxas de permeabilidade, dado que a migração continua de percolados para o lençol freático, pois a base do aterro não oferece resistência à infiltração devido a suas propriedades físicas. Outro agravante seria a ocorrência do nível freático no canal da voçoroca, o que agravaria ainda mais os riscos de contaminação da água associados à disposição do lixo na área.

O plano de recuperação da área foi proposto mediante aos impactos ambientais observados naquele período e, como objetivos maiores, propôs-se a recuperação visando à mitigação, à preservação, à conservação e ao controle dos impactos gerados na área na qual os resíduos foram depositados.

Segundo o relatório protocolado junto à FEAM, em agosto de 1997, foi dado início ao plano de recuperação da área. Para a recuperação foram adotados os procedimentos descritos nos itens seguintes.

2.7.1 – Controle dos processos erosivos

Os processos erosivos foram controlados com a disposição dos resíduos dentro das mesmas e juntamente ao processo foram instalados drenos em forma de espinha de peixe, no eixo central da voçoroca, com a finalidade de drenar os líquidos percolados e os gases gerados pela decomposição da massa de lixo.

Os sistemas de drenagem de gases e percolado do modelo “espinha de peixe” tem sido muito adotado em áreas de aterros sanitários e em áreas em processo de recuperação. No entanto, este sistema requer cuidados que se baseiam, principalmente, na compactação do canal (solo) onde serão implantados o sistema drenante na tentativa de impedir ou minimizar ao máximo a percolação do chorume para o NA. Além disso, o sistema deve ser implantado gradativamente, de acordo com a evolução das células do aterro.

Na área, os drenos do modelo “espinha de peixe” foram implantados a partir da utilização da seguinte metodologia: uma retroescavadeira teria feito trincheira no solo, obedecendo a inclinação natural do solo até as calhas coletoras instaladas na base do aterro e, em seguida, foram adicionadas britas nas trincheiras e, nos pontos pré-selecionados, instalaram-se manilhas de cerâmica no sentido vertical, com a finalidade de forçar o escape dos gases liberados pela decomposição do lixo, conforme mostras as FIGURAS 2.23 e 2.24.

Segundo o relatório, as células teriam sido implantadas de forma a drenar com facilidade os líquidos percolados e o biogás, observando-se:

- moldagem da área com caimento natural para as canaletas tipo espinha de peixe, e dreno coletores também com caimento natural;
- instalação dos drenos de biogás e demais elementos do projeto.

Foram utilizados, igualmente, pneus preenchidos com concreto como forma de barramento dos processos erosivos no fundo da voçoroca (Cf. FIGURAS 2.25 e 2.26).



FIGURA 2.23: Trancheiras abertas para implantação dos drenos de gases e chorume, tipo espinha de peixe.



FIGURA 2.24: Dreno para gases instalados na área

FONTE: PMU (1998)



FIGURA 2.25: Vista da construção do barramento com a utilização de pneus.



FIGURA 2.26: Construção de barramento em uma outra seção da voçoroca.

FONTE: PMU (1998)

Ao final da operação de remediação, segundo o projeto, as células foram encapsuladas com 60 cm de argila, 40 cm de saibro, 40 cm de terra vegetal e, posteriormente, foram plantadas gramíneas e eucaliptos para formar a “cortina verde”, conforme demonstram as fotos das FIGURAS 2.27, 2.28 e 2.29, que representam o final da obra de remediação.



FIGURA 2.27: Trabalho de retaludamento da porção inferior da voçoroca.



FIGURA 2.28: Aspectos gerais da área após a conclusão do projeto de remediação.

FONTE: PMU (1998)



FIGURA 2.29: Mudanças de Eucalipto plantadas no período, com a finalidade de constituir a cortina verde.

FONTE: PMU (1998).

2.7.2 – Paisagismo

Segundo o relatório de remediação, a área foi revegetada com espécies nativas do Cerrado e por espécies de Eucalipto.

2.7.3 – Tratamento dos efluentes

O projeto contemplou o tratamento dos efluentes (líquidos percolados) considerando suas características físico-químicas e biológicas; para tal, optou-se pela implantação de um filtro anaeróbico com tempo de detenção interna de 10 horas, associado a outro filtro biológico com tempo de detenção interna de 14 horas; também foi implantada uma escada de aeração (Cf. FIGURAS 2.30 e 2.31).

	
FIGURA 2.30: Construção das caixas destinadas ao tratamento biológico do percolado.	FIGURA 2.31: Finalização da construção das caixas de tratamento biológico.
FONTE: PMU (1998)	

2.7.4 – Monitoramento Ambiental

Segundo o relatório, o monitoramento ambiental seria feito periodicamente (Cf. o QUADRO 2.9).

QUADRO 2.9 – Quadro geral de Monitoramento (Remediação)

Assunto	Tipo	Período
Efluentes líquidos	Análise físico-química e microbiológica (antes e depois do sistema de tratamento)	Mensal
Hidrogeologia	Poço de monitoramento	Mensal
Águas pluviais	Análise físico-química e microbiológica	Semestral-01dia após as chuvas
Revegetação	Regagem e acompanhamento do desenvolvimento vegetal	Diária / mensal
Erosão	Vistoria / avaliação	Mensal
Fauna	Avaliação	Mensal

FONTE: PMU (1997).

2.8 – Situação atual da área pesquisada

Após seis anos da execução das obras remediadoras dos impactos ambientais executados na área do antigo lixão, os mesmos ainda persistem. Apesar de estarem explícitos nos relatórios daquele período, os monitoramentos não prosseguiram, conforme especificado no relatório protocolado junto à FEAM, sob nº 016473.

Os processo erosivos estão atuantes na área e ocasionando o ressurgimento do lixo depositado naquele local, podendo ser ainda facilmente encontrado, junto aos resíduos domiciliares, materiais hospitalares como seringas, frascos de medicamentos, dentre outros. As FIGURAS 2.32 e 2.33 apresentam a situação de um ponto localizado na porção oeste da área.

As obras de engenharia, em grande parte, foram afetadas pelos processos erosivos que atuam na área. No local, é visível que as barreiras de contenção dos processos erosivos construídas em 1999, com pneus, no fundo da voçoroca, foram totalmente soterradas pelos sedimentos. As curvas de nível que teria a finalidade de minimizar os processos erosivos, em alguns pontos estão rompidas, facilitando o arraste das camadas de solo que recobrem o lixo.



FIGURA 2.32: Reaparecimento do lixo em decorrência da erosão nas células do aterro



FIGURA 2.33: Lixo exposto em uma das porções das células.

FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.

Observa-se, ainda, o acúmulo de água sobre as células em vários pontos da área do aterro, onde são formadas poças temporárias de águas pluviais, o que do mesmo modo é um ponto negativo, pois facilita a percolação constante de águas pluviais junto à massa de lixo, contribuindo sobremaneira para o aumento de percolados (Cf. FIGURA 2.34).



FIGURA 2.34: Acúmulo de água em uma das células, constituindo pequenas lagoas temporárias.

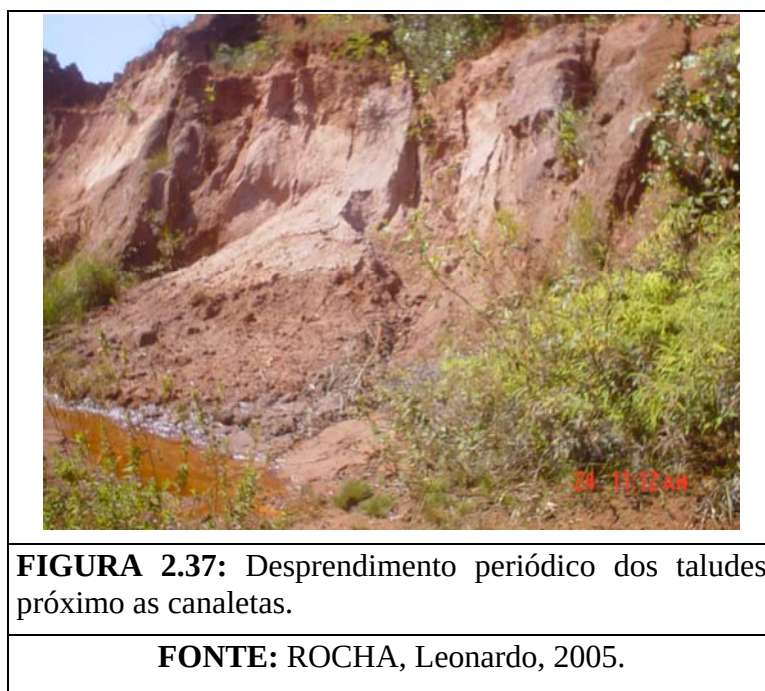
FONTE: ROCHA, Leonardo, 2006.

Outro agravante observado é referente às canaletas construídas na base do talude, que teriam como finalidade direcionar o percolado e águas pluviais até o córrego e caixas de tratamento biológico. Há muito tempo não tem havido manutenção e, conseqüentemente, estão sendo entulhadas também pelos sedimentos provenientes dos processos erosivos, conforme se observa nas FIGURAS 2.35, 2.36 e 2.37. Conseqüentemente, os efluentes estão sendo lançados sem nenhum tipo de tratamento ao córrego, ocasionando a contaminação de suas águas.

O acompanhamento da qualidade da água, conforme especificado no relatório de “Remediação da área”, também não tem sido feito conforme o especificado. O que se observa é um total abandono da área e, por conseguinte, a gradativa contaminação do lençol freático e das águas superficiais à jusante da área.

Estes agravantes, conforme entrevista concedida pelo gerente da propriedade, têm causado transtorno aos proprietários da fazenda Douradinho, uma vez que a área não está devidamente isolada (cercada) e o gado freqüentemente faz pastoreio no local, ingerindo a água que apresenta indícios de contaminação, conforme demonstram análises físico-químicas em ANEXO.

	
FIGURA 2.35: Aspecto atual das caixas de tratamento biológico.	FIGURA 2.36: Situação das caixas de tratamento biológico.
FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.	



A FIGURA 2.38 apresenta indícios de que o gado circula livremente na área, correndo sérios riscos de contaminação, uma vez que ingere água diretamente dos locais onde há indícios de contaminação por efluentes, originados pela decomposição do lixo confinado naquele local.



FIGURA 2.38: Indícios da presença de gado no fundo da calha do aterro.

FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.

No período chuvoso no Triângulo Mineiro, que abarca os meses de outubro a março, os impactos ambientais se agravam em decorrência dos processos erosivos e das águas pluviais que percolam junto às células; assim, os processos encontram resistência proporcionada pelas camadas compactadas de lixo que se localizam a menos de 40 cm, aflorando em pontos localizados das células, e isso oferece risco aos animais que ali circulam. Nestes locais nos quais a água aflora foi observado reações químicas e forte mau cheiro, o que aponta para uma possível contaminação do lençol freático conforme mostram as FIGURAS 2.39 e 2.40.



FIGURA 2.39: Afloramento de água em decorrência da saturação do solo e camadas resistentes à percolação da mesma.



FIGURA 2.40: Indícios de reação química e liberação de gases provenientes da decomposição de lixo.

FONTE: ROCHA, Leonardo, 2006.

Os drenos de gases instalados junto às células não cumprem seu papel, uma vez que grande parte dos mesmos se encontra cheios de água e, em análise organoléptica, não houve constatação de exalação de gases provenientes da decomposição do lixo confinado, o que indica uma possível falha na construção dos drenos de gases.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E PROCEDIMENTOS MÉTODOLÓGICOS

3.1 – Levantamento de informações e pesquisas bibliográficas

Para dar embasamento teórico à pesquisa, iniciaram-se os trabalhos a partir de revisões da literatura pertinente ao tema abordado e consultas ao Arquivo Público Municipal de Uberlândia, com a finalidade de se obter informações relativas ao tema. Estas atividades possibilitaram o entendimento dos principais métodos de tratamento e recuperação de áreas degradadas pela disposição de resíduos sólidos urbanos, bem como o projeto adotado pela PMU na concepção do projeto de remediação da área, uma vez que a mesma vinha apresentando problemas de ordem ambiental. A seqüência dos trabalhos desenvolvidos no decorrer desta pesquisa está representada, resumidamente, no fluxograma da FIGURA 3.41.

3.2 – Elaboração da base cartográfica

Paralelamente aos levantamentos bibliográficos, procedeu-se à digitalização da base cartográfica da bacia hidrográfica do Córrego dos Macacos em escala de 1:25.000, utilizando-se, para isso, de fotografias aéreas na escala de 1:25.000, obtidas no ano de 1979 (IBC-GERCA, 1979), bem como utilização das cartas topográficas SE 22-ZD-II-NE, SE 22-Z-B-VI-3SC, SE 22-Z-B-V-4, SE 22-Z-D-III/I-NO do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1976). Esses procedimentos possibilitaram a geração do mapa da bacia hidrográfica do Córrego dos Macacos.



FIGURA 3.41: Fluxograma das atividades desenvolvidas.

ORGANIZAÇÃO: ROCHA, Leonardo, 2005.

Posteriormente, procedeu-se à digitalização dos dados cartográficos e, para tal utilizou-se o programa AutoCAD 2002, com o auxílio de uma mesa digitalizadora, transpondo-se a imagem do papel para o meio digital, no qual foram representadas todas as informações adquiridas ao longo da pesquisa.

3.3 – Delimitação da área do aterro

Para a delimitação da área onde foram dispostos os resíduos, foram necessárias três etapas: a primeira contou com a interpretação de fotografias aéreas (IBC-GERCA, 1979), as quais possibilitaram a delimitação e delineamento da voçoroca existente na área, onde mais tarde seria realizada a disposição dos resíduos sólidos urbanos por parte da PMU.

Na segunda etapa, foi necessária a utilização da imagem do satélite QuickBird datada de 2002, na escala de 1:4000, a qual possibilitou uma visualização da situação atual em que a área se encontra. Depois de delineada a voçoroca, copiada a partir da fotografia aérea, foi necessário que se ampliasse a imagem da voçoroca, pois se objetivava seu ajustamento e enquadramento sobre a imagem de satélite, uma vez que as duas imagens apresentavam-se discrepantes em relação à escala.

Na terceira e última etapa, utilizou-se o programa ARCVIEW 9.0, o qual possibilitou a digitalização e a organização das imagens adquiridas, gerando-se, assim, ao final, uma carta-imagem que melhor representasse a área estudada. Na medida em que os trabalhos de campo foram sendo realizados para se obter dados para os ensaios geotécnicos *in situ* e coleta de materiais para análises em laboratório, estes locais foram sendo georeferenciados utilizando-se um aparelho de *Global Positioning System* (GPS) e, na sequência, lançados na carta a imagem que, ao final, possibilitou um entendimento de todas as etapas desenvolvidas no decorrer da pesquisa.

3.4 – Reconhecimento e definição de pontos de avaliação

Ao mesmo tempo em que eram realizados os trabalhos cartográficos, iniciaram-se os trabalhos de campo para se obter os melhores locais para a instalação dos poços de monitoramento de água subterrânea e superficial, além da escolha dos locais onde seriam realizadas as coletas das amostras de solo da área. Foram, ainda, definidos os pontos onde seriam realizados os ensaios de permeabilidade em campo, com o propósito de se obter os coeficientes de permeabilidade dos solos da área em foco.

As etapas de campo subseqüentes podem ser divididas em duas fases: a primeira, voltada para a instalação de poços de monitoramento destinados à coleta de água e a segunda destinada à caracterização geotécnica do solo mediante ensaios *in situ*.

3.5 – Atividades de campo: coleta de água

Para o monitoramento das águas superficiais foram definidos dois pontos de coleta no córrego que se localiza em uma área adjacente ao aterro controlado, sendo um ponto de amostragem à montante do córrego e outro à jusante da área, logo após os tanques de tratamento biológico de efluentes. Esperava-se, com esse procedimento, obter-se dados referentes à qualidade dos recursos hídricos superficiais.

Para o monitoramento das águas subterrâneas foram definidos e instalados três poços de monitoramento, sendo um à montante da área e dois poços à jusante, na base do aterro. Os poços foram denominados de Poço 1 (à montante), Poços 2 e 3 (à jusante da área). Os poços de monitoramento de águas subterrâneas foram instalados considerando-se a possível direção do fluxo de água e a topografia do terreno, de forma a interceptar a pluma de contaminação do lençol freático.

Na tentativa de determinar a direção do fluxo de águas subterrânea foram realizadas medições relativas à altitude e à declividade do terreno nos três locais onde foram instalados os poços; em seguida, com o auxílio de um cordão de *nylon* de 20 m e um coletor de água preso em uma das extremidades do cordão, pode-se determinar a profundidade do NA (nível freático) em cada poço. Dessa forma, analisando a topografia e a profundidade do NA, pode-se determinar a direção do fluxo de água subterrânea.

Em relação ao poço à montante, este foi instalado na porção fora das células onde se encontram aterrados os resíduos sólidos e em um local de maior altitude. Esse ponto teria, a princípio, a finalidade de servir como ponto comparativo entre os dois poços à jusante, uma vez que se supunha que o Poço 1 estaria livre da pluma de contaminação. Essa hipótese foi considerada levando-se em conta a topografia e a possível direção do fluxo de águas subsuperficiais que, na área, escoam para o córrego localizado adjacente à área do aterro. Dessa forma, supunha-se obter amostras de águas ausentes de contaminação, na qual se poderiam utilizar como parâmetros comparativos as áreas supostamente contaminadas.

A FIGURA 3.42 apresenta um esquema dos pontos onde foram instalados os poços de monitoramento de águas subterrâneas e a FIGURA 3.43 apresenta o perfil de como os poços foram alocados.

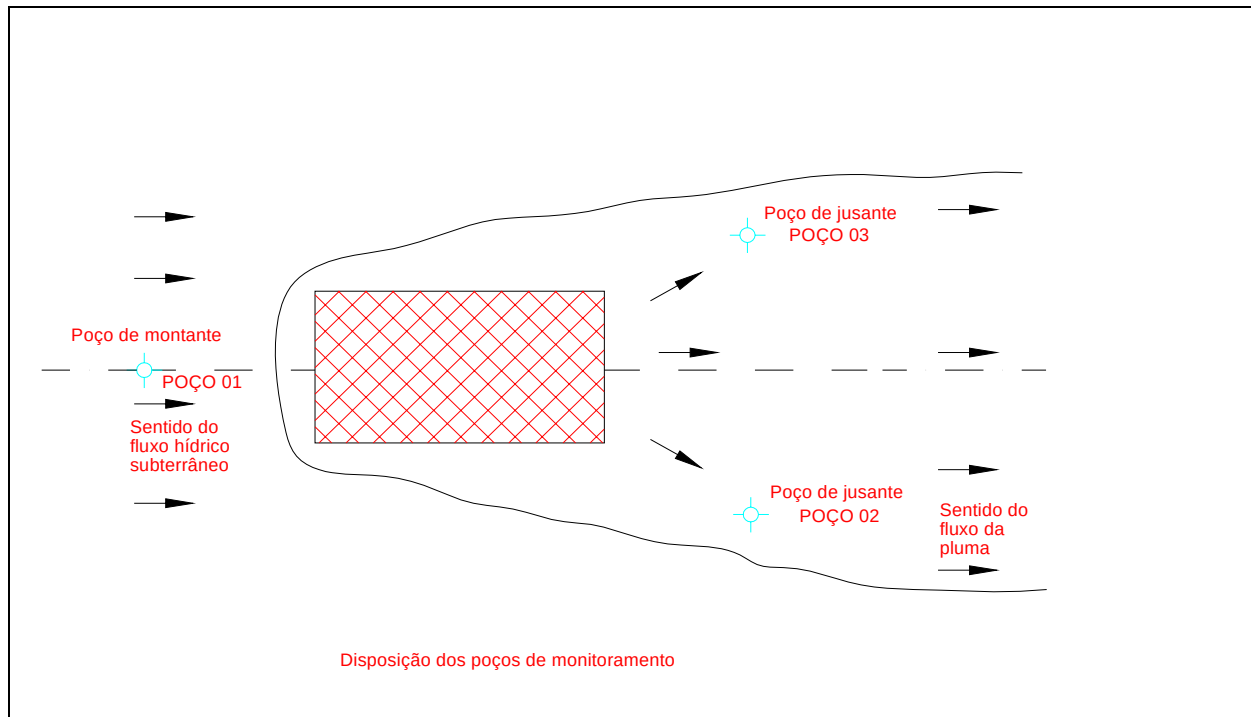


FIGURA 3.42: O esquema demonstra a localização dos poços de coleta de água em relação a célula do aterro.

ORGANIZAÇÃO: ROCHA, Leonardo, 2006.

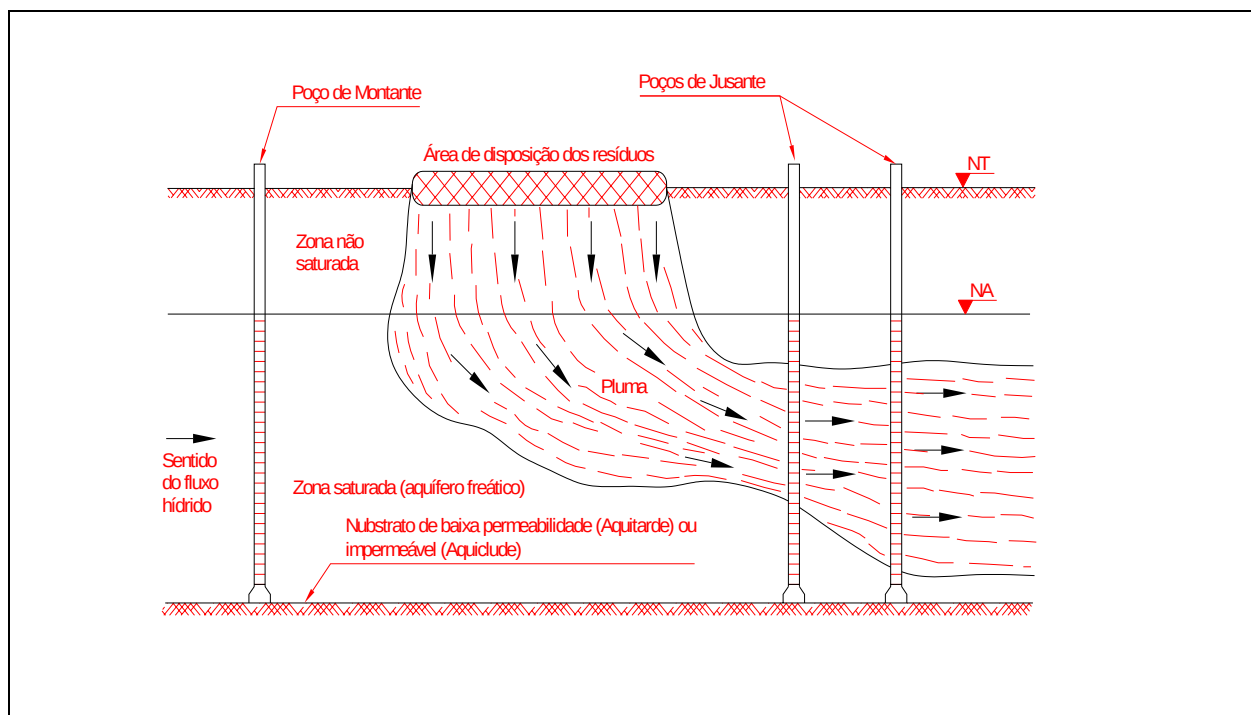


FIGURA 3.43: Perfil esquemático demonstrando a localização dos poços de monitoramento na célula do aterro.

ORGANIZAÇÃO: ROCHA, Leonardo, 2006.

A instalação dos poços de monitoramento de águas subterrâneas foi realizada de acordo com a NBR 13895 (ABNT, 1997). Para a instalação do Poço 01, utilizou-se de uma perfuratriz mecânica dotada de motor de 95 Cv sob regime de 1800 a 2400 RPM, conforme apresentado na FIGURA 3.44. Os outros dois poços, por falta de acessibilidade do equipamento mecânico e proximidade da zona saturada, não necessitou deste equipamento e foram construídos manualmente, com o auxílio de um trado “tipo hélice”, conforme mostra a FIGURA 3.45.

	
FIGURA 3.44: Perfuração do solo com equipamento mecânico. FONTE: ROCHA, Leonardo, 2006.	FIGURA 3.45: Trado tipo hélice utilizado na perfuração manual. FONTE: ROCHA, Leonardo, 2006.

Ambos os poços foram perfurados até que se atingisse o nível do lençol freático, conforme mostra as FIGURAS 3.46, 3.47, 3.48 e 3.49 e foram revestidos com tubos de PVC de 110 mm de diâmetro.

O Poço 01 possui 14 metros de profundidade. Para os Poços 02 e 03, suas profundidades foram de 0,5 metros em função da topografia do terreno e da proximidade do freático com o nível do solo.

Nos tubos, foram feitas as perfurações diretamente na sua parte inferior, com a utilização de uma furadeira elétrica com a finalidade de induzir a entrada de água e, em seguida, os mesmos foram revestidos com manta *Bidim*. No espaço anelar entre o tubo e

o furo foi introduzida, até uma certa altura, brita nº 0 e areia grossa para servir como pré-filtro, cuja função seria impedir o selamento da manta Bidim.

Na parte superior, em nível do solo, foi injetada uma massa de concreto, constituindo-se, com isso, o denominado “selo sanitário”. Por fim, colocou-se a tampa de PVC nas extremidades superiores de cada poço a fim de impedir qualquer tipo de interferência externa que viesse comprometer os pontos de amostragem. Na FIGURA 3.49 é apresentado um esquema de como os poços foram implantados.

	
FIGURA 3.46: Revestimento dos tubos de PVC com <i>Bidim</i>. FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.	FIGURA 3.47: Introdução do tubo de PVC no solo revestido pela manta <i>Bidim</i>. FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.



3.6 – Coleta de água para análises físico-químicas e parâmetros adotados

Após a conclusão da instalação dos poços de monitoramento de águas subterrâneas e superficiais, iniciou-se a coleta das amostras de água que foram realizadas em dois períodos distintos do ano, a primeira no 2º semestre de 2005 (estação seca) e a segunda no 1º semestre de 2006 (estação chuvosa), perfazendo um total de 10 amostras de água. Pretendeu-se, dessa forma, verificar se os possíveis indicadores de poluição teriam concentrações diferenciadas devido a maior ou menor percolação de águas pluviais de acordo com a época do ano e, assim, influenciar os resultados por meio de uma maior ou menor concentração dos parâmetros analisados.

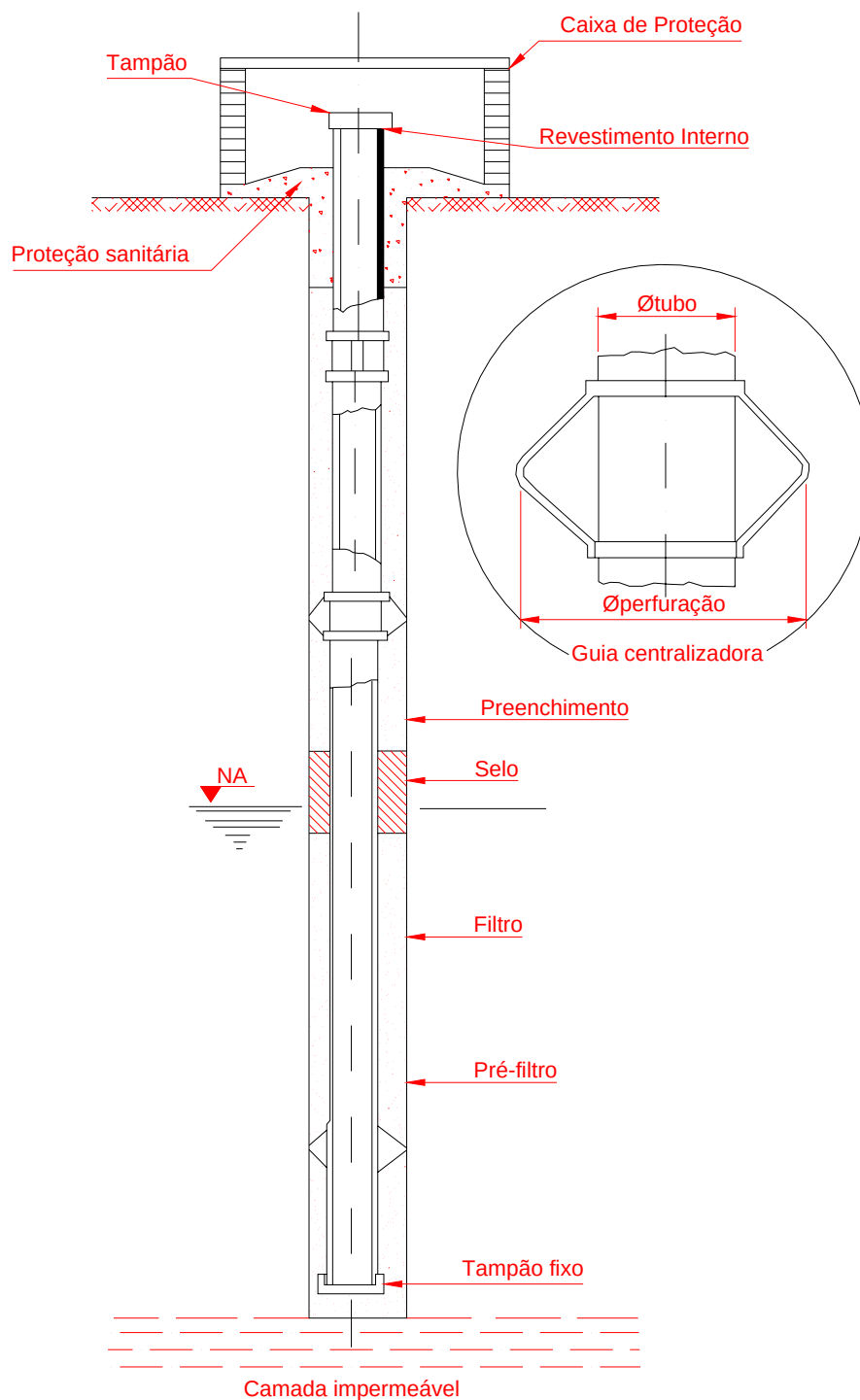
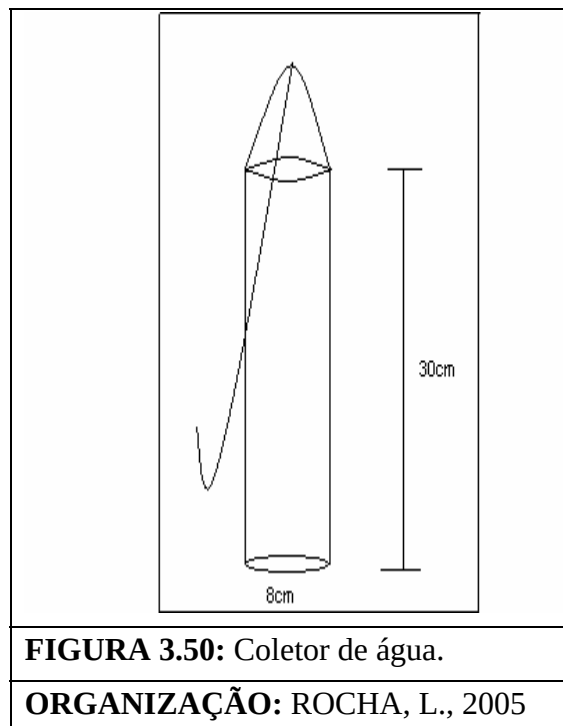


FIGURA 3.49: Esquema de montagem dos poços de monitoramento.

ORGANIZAÇÃO: ROCHA, Leonardo, 2005.

As amostras de água dos poços de monitoramento de águas subterrâneas e superficiais foram realizadas de acordo com o estabelecido na NBR 13895 (ABNT, 1997), e para tal utilizou-se um coletor de metal com 30 cm de altura e 8 cm de diâmetro (Cf. FIGURA 3.50).



Na coleta da água dos poços descartava-se um volume de água equivalente a três vezes o volume a ser colhido, uma vez que essa poderia não representar as condições da água a ser amostrada, conforme recomenda a NBR 13895 (ABNT,1997). Ainda conforme a prescrição dessa norma, toda vez que se utilizava o coletor nos poços ou no córrego, este passava por uma lavagem com a própria água do local a ser amostrado, a fim de manter suas características originais. As FIGURAS 3.51, 3.52, 3.53 e 3.54 apresentam a seqüência dos trabalhos de coleta das amostras realizadas na área.



FIGURA 3.51: Coleta de amostra de água do Poço 1 – a montante do aterro.
FONTE: FINOTI, Diogo, 2005.



FIGURA 3.52: Coleta de amostra de água do Poço. 3 – a jusante do aterro.
FONTE: FINOTI, Diogo, 2005.



FIGURA 3.53: Coleta de amostra de água do córrego a montante do aterro.
FONTE: FINOTI, Diogo, 2005.



FIGURA 3.54: Coleta de amostra de água do córrego a jusante do aterro.
FONTE: FINOTI, Diogo, 2005.

Em seguida, as amostras foram armazenadas em caixa térmica para manter sua temperatura ambiente e em foram transportadas e encaminhadas ao Laboratório de

Química do Instituto de Química (UFU), para análise físico-químicas, objetivando-se quantificar os seguintes parâmetros: Alcalinidade total, D.Q.O, D.B.O, Dureza total, Dureza de cálcio, Fósforo, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico, Nitrogênio Total, Óleos e graxas, O.D, Nitratos, pH, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos, Sólidos totais dissolvidos, Cádmio e Mercúrio e Cromo hexavalente. Os parâmetros analisados foram, de forma geral, a base na interpretação da situação em que se encontram os recursos hídricos superficiais e subterrâneos da área pesquisada.

Os parâmetros citados acima se baseiam na Resolução Conama nº 357 e foram selecionados por apresentarem maiores possibilidades de se obter indicativos de contaminação dos recursos hídricos, uma vez que, na massa de resíduos sólidos urbanos, é comum a presença de diversos compostos orgânicos e inorgânicos que, em sua decomposição ou alteração de seu estado químico, fornece indicativos de contaminação no solo e na água. Apesar da Resolução Conama nº 357 ser relativa ao enquadramento de corpos hídricos, optou-se por sua utilização na análise dos recursos hídricos subterrâneos da área estudada, uma vez que não foram encontradas literatura ou normas específicas para o enquadramento da qualidade das águas subterrâneas.

3.7 – Caracterização geotécnica do solo

A fim de se obter dados referentes às propriedades geotécnicas dos solos da área, e visando uma comparação entre o que propõe as normas referentes à disposição de RSU no solo e as características encontradas no local pesquisado, foram realizados ensaios laboratoriais de granulometria e ensaios *in situ* para se determinar o coeficiente de permeabilidade.

3.7.1 – Procedimentos para determinação do coeficiente de permeabilidade *in situ*

Para a obtenção de dados referentes à permeabilidade do solo da área pesquisada foram realizados ensaios de permeabilidade *in situ* em cinco pontos pré-selecionados de forma a representar a maior área de abrangência onde foram depositados os resíduos sólidos. Os ensaios abrangeram a porção superior da cobertura final das células do aterro e pontos localizados fora da área onde foram depositados os resíduos.

Para isso, foram escolhidos cinco pontos denominados de Pontos 1, 2, 3, 4 e 5. Estes foram realizados de acordo com as orientações da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE, 1996). Os procedimentos adotados para os ensaios são descritos a seguir.

Este ensaio consiste em realizar a infiltração da água em furos de sondagens (trado ou para simples reconhecimento – SPT).

Inicialmente, foram realizados furos no solo com trado de 70 mm de diâmetro e 50 cm de profundidade; em seguida, introduziu-se um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 1,12 m de comprimento até a profundidade de 0,20 m. Desse modo, o trecho ensaiado foi de 0,30 m. Após estes procedimentos, escarificou-se as paredes do furo, em seguida encheu-se o furo e o tubo de PVC com água até a sua extremidade superior. Tomou-se este momento como o instante $t = 0$ e, a partir daí manteve-se o nível d'água constante. A determinação da vazão infiltrada (Q) foi realizada por meio de um hidrômetro calibrado ou tambor graduado, em intervalos de tempo definidos. Essa diferenciação de equipamento se deve à diferença de permeabilidade de um ponto a outro, sobretudo a diferença de compactação dos solos.

No início do ensaio, a leitura foi realizada em intervalos de 1 minuto, até o décimo minuto e, a partir desta leitura, passou-se para intervalos maiores, de 5 minutos, até atingir a estabilização da vazão infiltrada. Cf. Fig 3.55.



FIGURA 3.55: Ensaio de permeabilidade realizado em furo de trado, em execução.

FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.

Os seguintes equipamentos foram empregados:

- hidrômetro com divisões de 100 ml e 1 litro;
- proveta graduada com capacidade para 1.000 ml, com subdivisão de 10 ml;
- trado tipo cavadeira de 65 mm de diâmetro;
- escarificador de furo;
- mangueira plástica de ½ polegada;
- registro para regularização da vazão;
- tubos de PVC (2) de 1,12 m e 2,12m de comprimento e 75 mm de diâmetro;

- um trator acoplado a um semi-reboque “pipa” para o transporte da água utilizada no ensaio, e uma planilha onde foram anotados os dados obtidos em campo.

3.7.2 – Cálculo para determinação do Coeficiente de Permeabilidade (k)

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade, empregou-se a seguinte expressão:

$$k = \frac{Q}{h} \times \frac{1}{C_u \cdot r} \text{ (cm/s)}$$

Onde:

K = coeficiente de permeabilidade (cm/s);

Q = vazão infiltrada (m³/s);

h = altura da coluna de água;

Cu = coeficiente de condutividade de meios não saturados (adimensional) – ábaco dado pela ABGE (1996);

r = raio do furo (m).

3.7.3 – Amostragem de solo

Utilizaram-se as **amostras deformadas** na amostragem de solo: para a realização dos ensaios de granulometria foram coletadas um total de cinco amostras deformadas de

solo em diferentes pontos, procurando-se abranger toda a extensão da área do aterro. Nas células do aterro foram extraídas cinco amostras de solo a uma profundidade de 0,15 m. Para tal, utilizou-se um trado “Holandês”.

Foi escolhido um segundo ponto de amostragem localizado na parede de uma voçoroca existente na base do aterro (Cf. FIGURA 3.56), com 13 m de profundidade, onde se coletou 13 amostras de solo (1 em 1m), que foram extraídas a cada metro de profundidade até a profundidade de 13 m.

As amostras de solo coletadas foram encaminhadas ao laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia para a análise física (granulometria).



FIGURA 3.56: Perfil da voçoroca instalada na base do aterro, onde se extraiu as amostras de solo indeformada.

FONTE: ROCHA, Leonardo, 2005.

3.7.4 – Ensaios laboratoriais

Após a coleta de solos, estes foram encaminhados ao Laboratório de Geotécnica da Faculdade de Engenharia Civil, onde foram preparados conforme as seguintes normas: NBR 6457 (ABNT, 1986), NBR 7181 (ABNT, 1984), e NBR 6502 (ABNT, 1995).

Ao final, os resultados foram representados sob a forma de curvas granulométricas que auxiliaram na classificação e geração de uma tabela contendo as características do tipo de solo encontrado na área pesquisada.

CAPÍTULO 4

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DOS MACACOS

4.1 – Localização e acesso

O município de Uberlândia (MG), onde está inserida a área-objeto do presente estudo, localiza-se no Triângulo Mineiro, a sudoeste do Estado de Minas Gerais (Cf. a FIGURA 4.57). A área, anteriormente, era constituída por uma voçoroca (Cf. a FIGURA 4.58) e hoje compreende um depósito de lixo com aproximadamente 35.256 m², situado a sudoeste do município, na zona rural, lugar denominado Fazenda Douradinho, distando cerca de 23 km do centro urbano do município. A área localiza-se, especificamente, na micro-bacia do córrego dos Macacos, entre as coordenadas geográficas 18°59' e 19°02' de Latitude Sul, e 48°23' e 48°35' de Longitude Oeste do meridiano de Greenwich (Cf. a FIGURA 4.59).

A área total da bacia abrange cerca de 67,8 Km² e tem como uso principal do solo as atividades agropecuárias. A cabeceira de drenagem do referido córrego localiza-se nas proximidades da rodovia vicinal que liga o município de Uberlândia ao distrito de Miraporanga a uma altitude de 845 metros, percorrendo aproximadamente 21 km no sentido Leste-Oeste até sua confluência com o Ribeirão Babilônia (afluente da margem direita do Rio Tijuco) na cota 720 metros. Seu desnível topográfico é de aproximadamente 125 metros da cabeceira à foz. No seu médio curso, o Córrego é “interceptado” transversalmente pela BR-497 (Uberlândia-Prata).

A área onde está localizado o “antigo lixão do município de Uberlândia localiza-se especificadamente no alto curso do córrego dos Macacos, na propriedade denominada Fazenda Douradinho”.

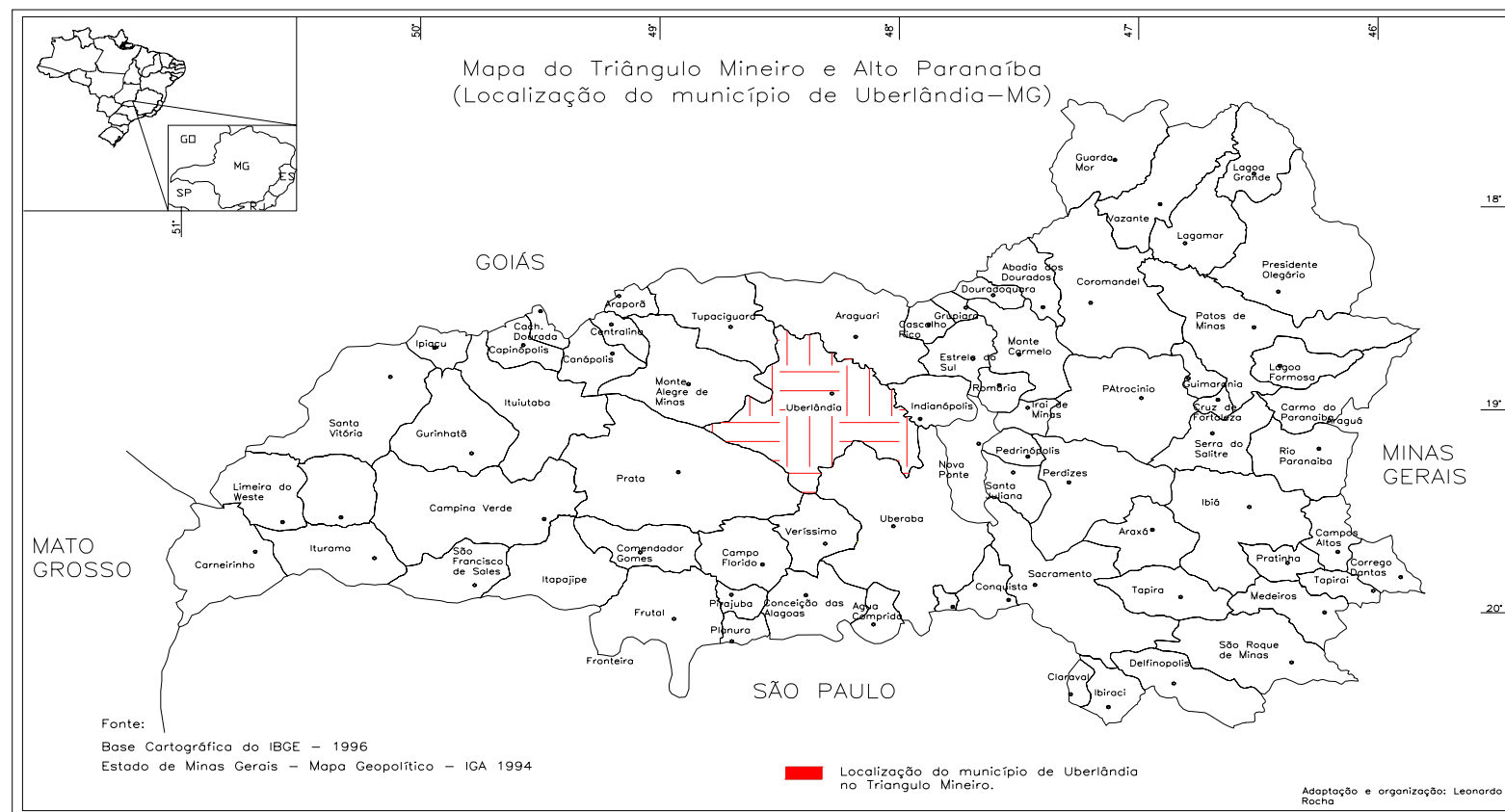


FIGURA 4.57: Localização de Uberlândia no Triângulo Mineiro (MG)



FIGURA 4.58: Foto aérea de 1979 da porção da bacia onde foram lançados os resíduos sólidos urbanos do município nos anos de 1989 a 1993.

FONTE: IBC – GERCA (1979)

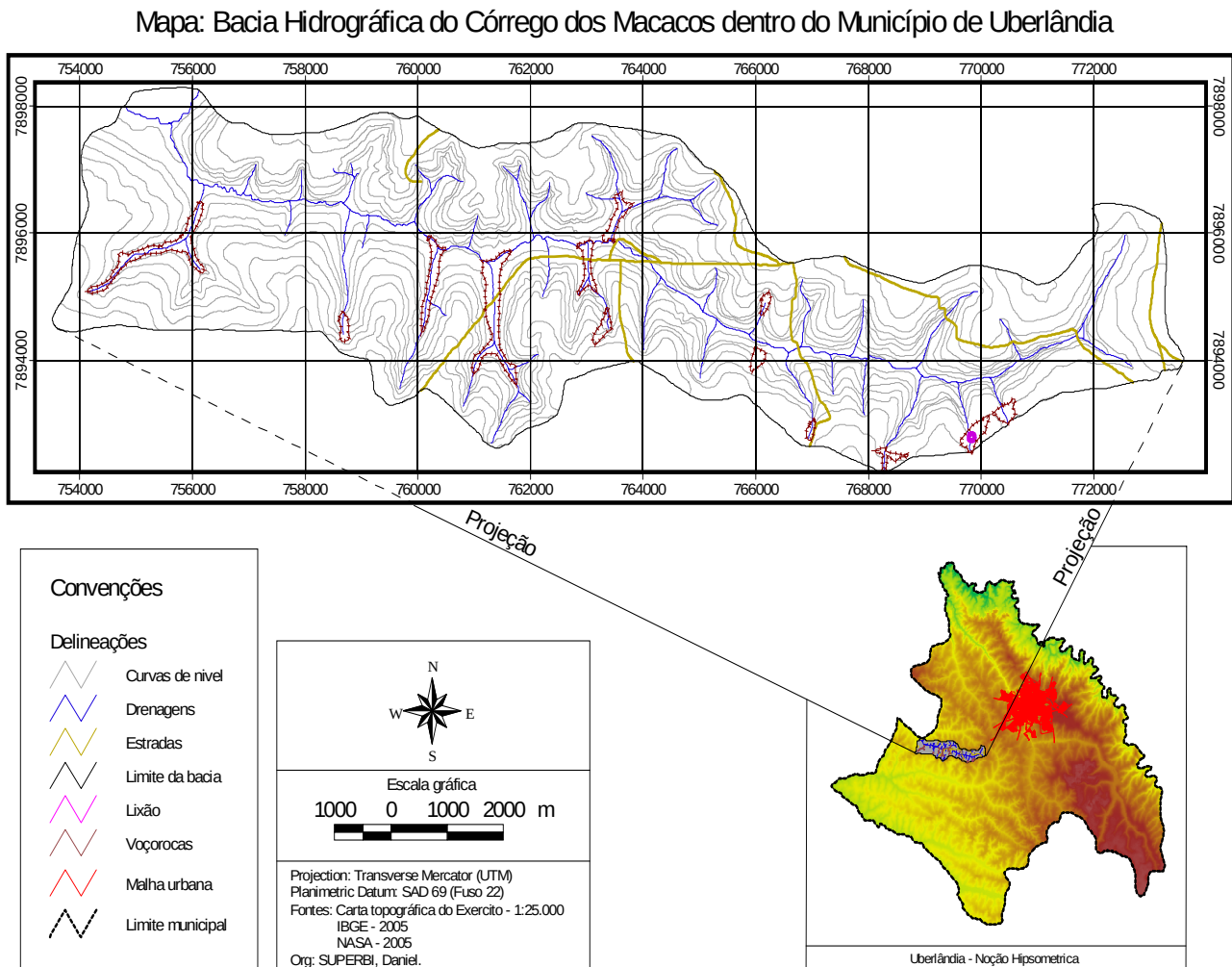


FIGURA 4.59 - Localização da Bacia hidrográfica do córrego dos Macacos no município de Uberlândia.

4.2 – Aspectos físicos do município de Uberlândia

4.2.1 – Clima

A região do Triângulo Mineiro possui um clima tipicamente tropical. Este se caracteriza por apresentar duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca, que compreende

os meses de março a outubro e a outra chuvosa, compreendendo os meses de novembro a fevereiro. As precipitações anuais variam entre 1300 a 1700 mm.

O clima da região é ainda caracterizado, segundo Del Grossi (1993), como sendo do tipo mesotérmico ou CWa, na classificação de Köppen. Ainda segundo a autora, no inverno o continente permanece resfriado, facilitando uma estabilização da Massa Polar Atlântica, podendo também ocorrer avanços desta através da região, o que provoca quedas bruscas na temperatura. A temperatura média mensal, nos meses de junho e julho, tem média de 18°C e a precipitação pluviométrica do mês mais seco fica em torno de 60 mm. O clima é seco e frio neste período do ano. Durante o verão, há grande instabilidade da Massa Polar Atlântica, devido ao aquecimento do continente, o que provoca precipitações. Nos meses mais quentes, as temperaturas médias são superiores a 22°C. O clima, nesta época, é quente e úmido. As temperaturas médias anuais, na região, variam entre 20 e 22°C (DEL GROSSI, 1993).

4.2.2 – Geomorfologia

A região do Triângulo Mineiro, segundo Baccaro (1991), apresenta formas de relevo tipicamente da Bacia Sedimentar do Paraná, dentro da superfície “Sul Americana” ou “Araxá” e “Velhas”, que se situam entre os rios Paranaíba e Grande.

Em levantamentos feitos por Baccaro (1991), foram identificados três unidades geomorfológicas:

Áreas de relevo intensamente dissecado, que corresponde à borda da extensa chapada Araguari-Uberlândia, estendendo-se até o rio Paranaíba e Grande. Nesta unidade geomorfológica, as altitudes variam entre 700 e 800 m de altitude, apresentando topos aplainados e alongados, prolongando-se em forma de espigão entre as sub-bacias e afluentes dos rios Paranaíba, Araguari, Uberabinha, Piedade, Jordão e outros (BACCARO, 1991).

Ainda de acordo com a autora, as feições morfológicas desse compartimento estão relacionadas à litologia, representada pelo basalto da Formação Serra Geral e pelas

rochas do Grupo Araxá, predominantemente com uma presença menos significativa dos arenitos do Grupo Bauru e dos sedimentos do Cenozóico. Nesta unidade geomorfológica, as maiores declividades estão entre 25 a 40°, e estão situadas, sobretudo, nas porções de ruptura das vertentes, relacionadas, em geral, ao afloramento do basalto, sendo atenuadas por rampas coluvionares. As outras duas áreas geomorfológicas são:

Áreas elevadas de cimeira, entre 950 e 1050 m, com topos planos, amplos e largos. Estas áreas apresentam baixa densidade de drenagem e vales com poucas ramificações de drenagem, vertentes com baixa declividade, entre 3 e 5°, sustentadas pelos arenitos da Formação Marília e recobertas pelos sedimentos do Cenozóico. Nestas áreas quase todos os vales são amplos, de fundo húmido, com características de “veredas”.

Área com relevo medianamente dissecado, são áreas onde são identificados topos entre 750 e 900 m, com formas convexas e vertentes entre 3 e 15° de declividade. A formação Adamantina do Grupo Bauru é a mais representativa na área, recoberta em grandes porções pelos sedimentos inconsolidados do Cenozóico, sobreposta ao basalto da Formação Serra Geral, o qual aflora no talvegue de alguns canais fluviais, em locais com entalhamento mais pronunciado, como observado pela autora no rio Tijuco, Rio da Prata, Uberabinha entre outros. Nesta compartimentação geomorfológica os processos pluviais são bastante significativos, dando origem a intensos ravinamentos e voçorocamentos (BACCARO, 1991).

4.2.3 – Solos

No Triângulo Mineiro, os solos são caracterizados, de maneira geral, por apresentar intenso intemperismo, grandes profundidades, boa drenagem, boa permeabilidade e uma elevada porcentagem da fração areia. Possuem baixa fertilidade natural, com exceção das áreas onde afloram o basalto da Formação Serra Geral, dos quais originam solos mais férteis; no entanto, apresenta baixos teores de nutrientes e elevada acidez (RODRIGUES, 2002).

O projeto RADAMBRASIL (1983) identificou, na região do Triângulo Mineiro, as seguintes tipologias de solos: Latossolo vermelho-escuro álico e distrófico, Latossolo vermelho-amarelo álico e distrófico, Latossolo roxo distrófico e eutrófico, Terra roxa estruturada e eutrófica, Podzólico vermelho-amarelo distrófico e eutrófico, Areia quartzosa álico, Cambissolo álico e distrófico, Glei húmico e pouco húmico álico e distrófico.

No município de Uberlândia, de acordo com Rodrigues (2002), predominam os solos do tipo Latossolo vermelho-escuro álico e distrófico, Latossolo vermelho-amarelo eutrófico, Latossolo Roxo distrófico e eutrófico, Litossolo, Glei húmico e pouco húmico álico e distrófico, e Areia quartzosa álica.

Segundo Rodrigues (2002), na bacia do Córrego dos Macacos estão presentes os Latossolos vermelho-amarelo, Latossolos vermelho-escuro, Litossolos e os solos Hidromórficos, com exceção dos Litossolos e dos solos hidromórficos; de um modo geral, são solos bastante profundos e bem drenados, apresentando homogeneidade de cor e textura ao longo do perfil vertical.

A presença de materiais inconsolidados se faz presente em grande parte da bacia do córrego dos Macacos, e são representados pelos residuais de pequena espessura da Formação Marília, depósitos coluviais e solos hidromórficos conforme citado por (RODRIGUES, 2002).

De acordo com Rodrigues (2002), observa-se, de um modo geral, que os materiais inconsolidados da bacia do córrego dos Macacos apresentam as seguintes características:

- os teores de argila variam de 16,0 a 27, 5%; os de silte variam de 2,5 a 8,0 % (chegando ao máximo 11,5 %); e de areia variam de 68 e 76,0%, predominando a areia fina;
- os materiais inconsolidados possuem elevados índices de vazios (variando de 1,69 a 1,98) e apresentam elevada capacidade de infiltração;

- o solo possui alta capacidade de absorção de água, porém saturando-se muito rápido;
- o valor da capacidade de troca catiônica (CTC) é baixo devido a duas características:

1 – elevada percentagem da fração areia.

2 – as partículas de argila apresentam-se parcialmente revestidas por uma película de óxidos de ferro e alumínio.

4.2.4 – Geologia

A Bacia Sedimentar do Paraná, na região do Triângulo Mineiro, de acordo com Nishiyama (1989), é representada pelas unidades geológicas de idade Mesozóica: Formação Botucatu (Triássico), Formação Serra Geral (Jurássico-Cretáceo) e Grupo Bauru (Cretáceo).

De acordo com Nishiyama (1989), no município de Uberlândia as litologias do Complexo Basal Goiano afloram em uma faixa estreita e de pequena extensão, que margeia o rio Araguari na porção leste do município, limitada pelos córregos Marimondo e Buracão. As litologias mais evidentes nestas áreas são os Magmatitos, Gnaisses e Granitos intrusivos.

Ainda segundo Nishiyama (1989), as rochas do Grupo Araxá tem sua área de exposição nos vales dos rios Araguari e Uberabinha, sendo que, ao longo do vale do rio Araguari, o referido Grupo possui maior expressão em termos de exposição, estendendo-se desde a altura do córrego Boa vista em direção á jusante.

Os basaltos da Formação Serra Geral afloram nas vertentes dos vales dos rios Araguari, Uberabinha, Tijuco e Douradinho e, devido ao desgaste das camadas sobrejacentes, provocou o aprofundamento da rede de drenagem. A unidade Serra Geral é caracterizada pelas rochas efusivas de natureza básica e lentes de arenitos que se

intercalam aos derrames basálticos (arenitos intertrapeanos). No Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, o Grupo Bauru é representado pelas Formações Adamantina, Uberaba e Marília (RODRIGUES, 2002).

A Formação Adamantina é caracterizada, nessa região, pelos arenitos de granulação média a grossa, coloração marrom-avermelhada ou arroxeada, teor em matriz siltíco-argilosa variável e feições maciças. A Formação Adamantina pode ser observada nos vales dos principais rios que drenam a região, ou no interior das voçorocas, a oeste do município do Prata, onde a cobertura sobrejacente foi erodida (NISHIYAMA, 1989).

A Formação Uberaba apresenta-se como uma brecha sedimentar, contendo fragmentos de basalto e arenitos vulcano-clásticos de granulometria média, com proporções variadas de grânulos e seixos. Também estão presentes níveis de siltitos, os quais gradam para sedimentos mais arenosos junto ao topo (NISHIYAMA, 1989).

Segundo o mesmo autor, no Triângulo Mineiro a Formação Marília é caracterizada por espessas camadas de arenitos inconsolidados e conglomerados superpostos aos níveis carbonáticos. No município de Uberlândia, a Formação Marília é limitada à sudeste pelos rios Araguari e Bom Jardim, estendendo-se ao sul, em direção ao município de Uberaba, e ao norte, passando por Uberlândia, seguindo em direção aos distritos de Martinésia e Cruzeiro dos Peixoto, a oeste rumo aos municípios de Monte Alegre de Minas e Tupaciguara.

De acordo com Nishiyama (1989), os sedimentos de idade Cenozóica ocorrem em quase toda a extensão do município de Uberlândia, capeando as rochas mais antigas e ocupando todos os níveis topográficos, desde às áreas de chapadas até às vertentes dos vales fluviais.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – Carta imagem (delimitação da área)

A carta imagem objetivou representar de forma visual as etapas desenvolvidas no decorrer da pesquisa, sendo um auxílio para a interpretação dos dados obtidos. A carta imagem contempla de forma gráfica (visual) os locais onde foram realizados os ensaios geotécnicos, coletas de amostras de solo, bem como locação dos poços de monitoramento de águas subterrâneas e superficiais e, ainda, a delimitação da área da voçoroca onde foram dispostos os resíduos sólidos urbanos, conforme representado abaixo na FIGURA 5.60.

A partir dos procedimentos cartográficos, foi possível delimitar a área onde ocorreu a disposição dos resíduos sólidos, uma antiga voçoroca, que compreendia cerca de 35.256 m², onde foram lançados, entre 1989 e 1993, cerca de 3.817,750 metros cúbicos (produção acumulada), o que reflete hoje em diversos tipos de impactos ambientais, sobretudo nos recursos hídricos. Este procedimento possibilitou tanto a identificação da área onde foram lançados os resíduos quanto na locação dos poços de monitoramento de águas subterrâneas.

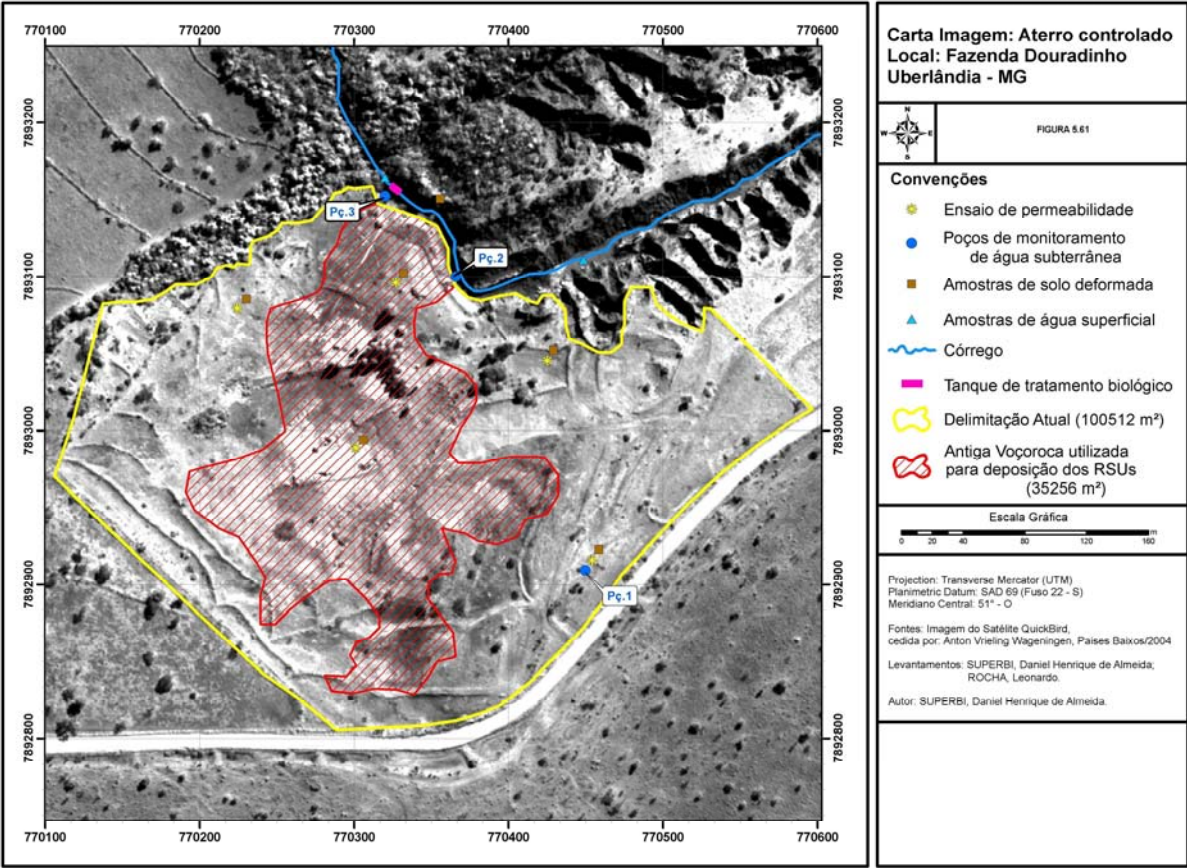


FIGURA 5.60 – Carta imagem: aterro controlado

5.2 – Ensaios geotécnicos realizados em campo e laboratório

5.2.1 – Ensaios granulométricos

Segundo Rodrigues (2002), na bacia hidrográfica do córrego dos Macacos são encontrados os seguintes tipos de solos: Latossolos vermelho-amarelo, Latossolos vermelho-escuro, Litossolos e os solos Hidromórficos (EMBRAPA, 1999); com exceção dos Litossolos e dos solos Hidromórficos, de um modo geral, os demais são solos bastante profundos, bem drenados e apresentam homogeneidade de cor e textura ao longo do perfil vertical.

As frações granulométricas que compõem os solos analisados, bem como suas classificações granulométricas, são apresentadas nos QUADROS 5.11 e 5.12, auxiliando na interpretação e análise de suas características geotécnicas.

Ao longo do perfil da voçoroca, houveram variações significativas das frações finas (silte e argila) dos materiais avaliados. Os valores expressos no QUADRO 5.11 permitem afirmar que existe a predominância da fração areia em relação às demais frações granulométricas (silte, argila e pedregulho), sendo toda constituída principalmente de areia fina e média. A porcentagem de areia variou entre o mínimo de 50% e o máximo de 81%, situando-se a média da fração em torno de 70%; a fração silte oscilou entre 4 e 20% com a média de 13%; e a fração argila entre 4 e 34 %, ficando a média em 15%. Observa-se, mediante os valores encontrados, que existem níveis com maior porcentagem de argila, notadamente entre 1 e 2 metros e 4 e 5 metros de profundidade. Em geral, nas profundidades em que as porcentagens de argila são baixas as porcentagens da fração silte são mais elevadas.

QUADRO 5.11 – Classificação dos solos coletados no perfil da voçoroca.

Profundidade (m)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)				Pedreg. (%)	Classificação Granulométrica
			Fina	Média	Grossa	Total		
1	34	8	30	26	2	58	0	Areia argilosa
2	34	4	32	28	2	62	0	Areia argilosa
3	8	14	48	28	2	78	0	Areia siltosa
4	25	7	36	25	6	67	1	Areia argilosa
5	30	20	27	20	3	50	0	Areia argilo-siltosa
6	8	17	40	26	3	69	6	Areia siltosa
7	14	11	48	24	2	74	1	Areia argilo-siltosa
8	9	18	48	23	2	73	0	Areia siltosa
9	4	15	39	41	1	81	0	Areia siltosa
10	5	17	38	39	1	78	0	Areia siltosa
11	8	12	26	50	4	76	0	Areia siltosa
12	6	17	42	34	1	76	0	Areia siltosa
13	11	14	40	34	1	74	0	Areia silto argilosa

Os solos coletados no perfil da voçoroca podem ser classificados, em sua maioria, como areno-siltoso. Assim sendo, as características granulométricas encontradas apontam para solos de elevados coeficientes de permeabilidade (k).

Na área do aterro controlado, foram coletadas cinco amostras de solo a fim de se identificar suas propriedades geotécnicas. As análises dos resultados obtidos evidenciaram que a fração areia varia entre 59% e 79 %, sendo que a média da fração aproxima de 72%; a fração silte oscilou entre 11% e 28% e sua média 19%; a fração argila entre 4% e 13%, tendo como média 42%. Os valores encontrados sugeriram uma distribuição granulométrica pouco discrepante entre as cinco amostras coletadas na cobertura do aterro controlado (QUADRO 5.12)

QUADRO 5.12 – Classificação granulométrica dos solos coletados nas células do aterro.

Pontos	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)				Pedreg. (%)	Classificação Granulométrica
			Fina	Média	Grossa	Total %		
1	10	11	50	27	2	79	0	Areia argilo-siltosa
2	8	20	40	30	2	72	0	Areia siltosa
3	13	28	39	18	2	59	0	Areia argilo-siltosa
4	4	20	46	27	3	76	0	Areia siltosa
5	7	18	35	37	3	75	0	Areia siltosa

Segundo o Relatório de Remediação da Área, protocolado pela PMU junto à FEAM, sob nº 016473, “os solos utilizados no selamento das células foram extraídos de jazidas ricas em materiais argilosos e transportados até o local”. No entanto, os resultados das análises apontaram para solos de características semelhantes às encontradas no perfil da voçoroca.

O resultado dos ensaios geotécnicos realizados em diferentes porções da área estudada corresponde aos estudos realizados por Rodrigues (2002), que identificou as seguintes características geotécnicas para os solos de áreas adjacentes ao aterro:

- Teores de argila variaram de 4,0 a 34,0 %; os de silte variaram de 4,0 a 28,0 %; e de areia em torno de 70 %, predominando a areia fina;
- Materiais inconsolidados apresentaram elevados índices de vazios (com variação entre 1,69 e 1,98) e apresentaram elevada capacidade de infiltração;
- Os solos apresentaram elevada capacidade de absorção de água, porém saturam-se muito rapidamente.
- Os solos presentes nas porções próximas ao aterro controlado podem ser caracterizados como residuais da Formação Marília.

Os resultados das análises geotécnicas apresentadas por Rodrigues (2002) não estão de acordo com o relatório de remediação da área, de que os solos utilizados para o selamento das células seriam solos com características argilosas e que foram retirados de áreas adjacentes ao aterro. As características granulométricas dos solos do local, por si só, sugere um alto coeficiente de permeabilidade. Dessa forma, podem estar contribuindo para percolação de quantidades significativas de águas pluviais para o interior do aterro. Conseqüentemente, esse processo contribui para a geração de líquidos percolados, talvez muito acima do que se previa no relatório de remediação da área.

No entanto, Tormin Filho et al. (2005) afirmaram que solos com características semelhantes aos encontrados nas células do aterro, quando bem compactados, podem apresentar ordem de grandeza de coeficientes de permeabilidade inferiores a 10^{-6} cm/s. Em estudos realizados pelos mesmos autores com solos residuais da mesma formação (Formação Marília) e características granulométricas semelhantes, quando compactados na umidade ótima e na energia do Proctor Normal, obtiveram coeficiente de permeabilidade (k) da ordem de 10^{-6} cm/s. Desse modo, pode-se supor que estes tipos

de solos, quando compactados de forma adequada, podem ser utilizados como materiais de cobertura final em aterros de resíduos sólidos.

2.2.2 – Ensaios para obtenção do coeficiente de permeabilidade (k)

O QUADRO 5.13 apresenta os coeficientes de permeabilidade obtidos em cada ponto de amostragem localizado na área do aterro controlado.

QUADRO 5.13 – Resultado dos coeficientes de permeabilidade (K) obtido nos cinco pontos amostrados.

PONTOS	RESULTADOS
*Ponto 1	$6,9 \times 10^{-4}$
Ponto 2	$2,1 \times 10^{-4}$
Ponto 3	$2,2 \times 10^{-4}$
*Ponto 4	$1,7 \times 10^{-4}$
Ponto 5	$3,8 \times 10^{-4}$

* Ensaio realizado fora da área do aterro.

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), as áreas destinadas à deposição de resíduos sólidos urbanos devem possuir depósitos naturais extensos e homogêneos de materiais (solo) com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m. Os ensaios *in situ* para a determinação do coeficiente de permeabilidade (k) evidenciaram que os solos utilizados para a cobertura final do aterro possuem elevados coeficientes de permeabilidade comparado ao que recomenda a NBR 13896 (ABNT, 1997).

Os vários pontos onde foram realizados os ensaios de permeabilidade *in situ* apresentaram características semelhantes na sua permeabilidade, apontando para

coeficientes de permeabilidade (k) superiores ao recomendado pela NBR 13896. Em áreas destinadas à disposição de resíduos, onde o coeficiente de permeabilidade esteja acima do recomendado pela NBR 13896 que é de $k = 10^{-6}$ cm/s são indicadas medidas que propiciem a impermeabilização das camadas inferiores e laterais das células onde ocorrerá a disposição dos resíduos. Geralmente, as barreiras impermeáveis são constituídas de camadas de solos compactados (CETESB, 1985) e, paralelamente a esta ação, deve ser adicionada uma manta sintética composta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD¹) o que não se constatou durante as perfurações para instalações dos poços de monitoramento.

A médias dos resultados obtidos nos ensaios apontaram para coeficientes de permeabilidade k igual a $3,9 \times 10^{-4}$ cm/s superiores ao indicado pela NBR 13896. Esta situação sugere que, durante o período chuvoso ocorra intensa percolação de águas pluviais nas células através da cobertura do aterro, e que em um segundo momento, estas se somam aos líquidos gerados pela decomposição da massa de lixo. Conseqüentemente, podem contribuir para um aumento significativo do volume de chorume e da extensão da pluma de contaminação.

Em perfurações no solo da área objetivando a instalação do poço de monitoramento de montante constatou-se que o nível freático, no ponto mais elevado da área, se situa a uma profundidade de 13 m, medidos a partir do nível do solo. Por se tratar de uma área de voçoroca, o lençol freático provavelmente aflorava no fundo da mesma. Esta situação pode ser observada na maioria das voçorocas existentes num raio de dois quilômetros. O que agrava ainda mais a situação ambiental da área é que os resíduos sólidos urbanos teriam sido dispostos sobre uma camada de solo inferior a 1,5 m sobre o N.A (LIMA et al., 2002).

A características geotécnicas dos solos locais, associadas à prática de disposição de resíduos sólidos no interior da voçoroca, pode estar contribuindo para a percolação de lixiviados na zona saturada, ocasionando sua contaminação.

¹ Cf. www.netresiduos.com.

5.3 – Resultado das análises de água

A qualidade da água pode ser representada por meio de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Tais parâmetros podem ser de utilização geral para caracterização de águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores (VON SPERLING, 1996).

Nesta pesquisa, foram realizadas coletas de amostras de águas objetivando caracterizar a contaminação dos recursos hídricos da área pesquisada. Para tal buscou-se avaliar a qualidade das águas de acordo com os parâmetros físico-químicos, apresentados pela Resolução Conama nº 357/2005, a qual estabelece parâmetros básicos para a caracterização de distintas classes de água.

O resultado das análises físico-químicas das amostras de águas coletadas na área em dois períodos distintos (seco e chuvoso) apresentou alterações nos parâmetros avaliados acima do estabelecido na Resolução Conama nº 357/2005, indicando que tanto a água superficial como a subterrânea apresenta evidências de contaminação.

Coloca-se, a título de comparação, as análises dos dois períodos do ano, nos quais foram realizadas as coletas das amostras superficial e subterrânea e, em seguida, apresenta-se uma avaliação das condições encontradas nos recursos hídricos locais.

5.2.2 – Período seco x chuvoso: amostras da água

Nos QUADROS 5.14 a 5.17, são apresentados os resultados das análises de água coletada no Córrego e nos poços de monitoramento de águas subterrâneas. Os resultados se referem aos dois períodos do ano em que foram realizadas as coletas das amostras de água, nas estações seca e chuvosa. Observa-se, ainda, que há uma variação significativa nos parâmetros analisados, indicando uma possível contaminação dos

mananciais hídricos locais. Todos os parâmetros apresentados nos quadros a seguir apresentam variações significativas nos seus valores e, em alguns deles, detectam-se níveis de contaminação acima do estabelecido pela Resolução Conama nº 357.

São apresentados, a seguir, em forma de quadros, os resultados obtidos com as amostras de água coletada em dois períodos distintos do ano (seco e chuvoso). Os QUADROS 5.14 e 5.15 são referentes às amostras de água coletadas no córrego à montante e à jusante da área onde foram dispostos os resíduos sólidos e nos QUADROS 5.16 e 5.17 são apresentados os resultados obtidos nos poços de monitoramento de águas subterrâneas, sendo um poço à montante da área e dois à jusante.

QUADRO 5.14 – Avaliação dos parâmetros analisados no Córrego na estação chuvosa

Parâmetros analisados	Córrego à montante	Córrego à jusante
Alcalinidade total (mg/L)	7,0	32
D.Q.O (mg/L)	11,0	357
D.B.O (mg/L)	6,3	193
Dureza total (mg/L)	6,9	2336
Dureza de cálcio (mg/L)	4,0	1881
Fósforo (mg/L)	0,03	2,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,42	16,2
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	zero	3,22
Nitrogênio total (mg/L)	0,42	19,5
Óleo e graxas (mg/L)	0,20	1,20
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,0	7,0
Nitratos (mg/L)	0,40	8,0
pH	6,73	6,26
Sólidos Sedimentados (mL/L)	Inferior a 0,05	0,8
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	92	100
Sólidos totais (mg/L)	112	132
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	20	32
Chumbo (mg/L)	N.D	N.D
Cromo (mg/L)	N.D	N.D

ND: Não detectado (método de absorção atômica – CG AA905)

QUADRO 5.15 – Avaliação dos parâmetros analisados no Córrego na estação seca.

Parâmetros analisados	Córrego à montante	Córrego à jusante
Alcalinidade total (mg/L)	4,0	22,0
D.Q.O (mg/L)	8,0	411
D.B.O (mg/L)	5,0	223
Dureza total (mg/L)	4,0	2300
Dureza de cálcio (mg/L)	3,0	1780
Fósforo (mg/L)	0,03	2,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,56	11,5
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	zero	3,78
Nitrogênio total (mg/L)	0,56	15,3
Óleo e graxas (mg/L)	0,40	1,0
Oxigênio dissolvido (mg/L)	9,2	8,4
Nitratos (mg/L)	0,50	6,0
pH	6,41	5,95
Sólidos Sedimentados (mg/L)	0,05	1,0
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	60	116
Sólidos totais (mg/L)	80	150
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	20	34
Cádmio (mg/L)	N.D ⁽¹⁾	N.D ⁽¹⁾
Mercúrio (mg/L)	N.D ⁽²⁾	N.D ⁽²⁾

ND: Não detectado (método de absorção atômica – CG AA905), (1) Limite de detecção inferior a 0,01 mg/L (2) Limite de detecção inferior a 1 mg/L

QUADRO 5.16 – Avaliação dos parâmetros analisados nos Poços de monitoramento - estação seca

Parâmetros analisados	Poço 01 Montante	Poço 02 - Jusante	Poço 03 – Jusante
Alcalinidade total (mg/L)	16,0	10,0	36,0
D.Q.O (mg/L)	8,0	146	173
D.B.O (mg/L)	5,0	77	95
Dureza total (mg/L)	4,0	1000	760
Dureza de cálcio (mg/L)	3,0	840	620
Fósforo (mg/L)	0,05	0,10	1,50
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,70	1,82	1,54
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Zero	0,14	0,70
Nitrogênio total (mg/L)	0,70	1,96	2,24
Óleo e graxas (mg/L)	0,50	0,40	0,30
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,6	7,6	6,4
Nitratos (mg/L)	0,40	0,80	0,80
pH	7,16	5,85	5,93
Sólidos Sedimentados (mg/L)	Inferior a 0,05	Inferior a 0,05	Inferior a 0,05
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	60	60	65
Sólidos totais (mg/L)	68	72	80
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	8,0	12	15
Cadmio (mg/L)	N.D	N.D	N.D
Mercurio (mg/L)	N.D	N.D	N.D

ND: Não detectado (método de absorção atômica – CG AA905)

QUADRO 5.17 – Avaliação dos parâmetros analisados nos Poços de monitoramento - estação chuvosa.

Parâmetros analisados	Poço 01 Montante	Poço 02 - Jusante	Poço 03 – Jusante
Alcalinidade total (mg/L)	20	20	46
D.Q.O (mg/L)	15,0	154	232
D.B.O (mg/L)	8,1	780	124
Dureza total (mg/L)	4,0	1036	824
Dureza de cálcio (mg/L)	3,0	871	685
Fósforo (mg/L)	0,03	0,12	1,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,54	2,66	2,38
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	zero	0,21	1,12
Nitrogênio total (mg/L)	1,54	2,87	3,50
Óleo e graxas (mg/L)	0,10	0,60	0,80
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,6	8,2	8,0
Nitratos (mg/L)	0,50	0,60	1,0
pH	7,31	6,15	6,18
Sólidos Sedimentados (mg/L)	0,1	0,05	0,1
Sólidos Suspensos 105° C (mg/L)	44	56	80
Sólidos totais (mg/L)	60	80	96
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	16	24	16
Chumbo (mg/L)	N.D	N.D	N.D
Cromo (mg/L)	N.D	N.D	N.D

ND: Não detectado (método de absorção atômica – CG AA905), (1) Limite de detecção inferior a 0,01 mg/L (2) Limite de detecção inferior a 1 mg/L

Analisando-se os resultados, observa-se que no período chuvoso há uma concentração maior dos parâmetros analisados do que no período seco. Esse aumento pode estar relacionado, em parte, à entrada de águas pluviais no sistema (aterro) através de percolação nas células do aterro. A maior incidência de águas pluviais no interior do aterro induz e acelera o processo de deslocamento dos lixiviados para o nível freático, a ponto de contribuírem para o aumento das concentrações dos parâmetros analisados, principalmente em pontos localizados à jusante da área.

Somado a estes fatores, o deslocamento vertical do freático na estação chuvosa é provocado, principalmente, pela grande quantidade de água que percola no solo nessa estação, possivelmente vem contribuindo para a concentração dos contaminantes presentes na água, uma vez que esse deslocamento favorece permanentemente (durante a estação chuvosa) o contato do freático com a massa de lixo a partir de sua base; dessa forma, possibilita o aumento das concentrações dos contaminantes na água subterrânea.

Como o fluxo de águas subterrâneas tende a se deslocar horizontalmente para os pontos de menor declividade do terreno (no caso coincidindo com o córrego e poços de monitoramento de águas subterrâneas), esse deslocamento favorece o carreamento e o aumento na concentração dos contaminantes presente no chorume para os pontos de monitoramento localizados à jusante da área.

Embora no período seco a incidência de águas pluviais seja menor, as concentrações nos parâmetros analisados permaneceram relativamente elevadas se comparado aos poços de monitoramento à montante, fato este que pode estar relacionado, principalmente, ao carreamento dos contaminantes via deslocamento do fluxo subterrâneo. A contaminação das amostras de águas coletadas no córrego, independentemente do período analisado, também se apresentaram contaminadas, fato este que pode estar relacionado à contaminação do freático e à ineficácia no processo de tratamento biológico, uma vez que os tanques de tratamento encontram-se assoreados e sem nenhum tipo de manutenção.

Outro fato importante a ser mencionado é relativo aos drenos, que teriam a função de direcionar o chorume gerado no interior das células até os tanques de tratamento; no

entanto, observou-se que os mesmos encontram-se vazios, supondo-se que o chorume esteja percolando para o nível freático.

Por meio dos diversos parâmetros analisados nas amostras de água coletadas nos recursos hídricos (superficial e subterrâneo) pode-se confirmar que os mesmos encontram-se contaminados em consequência da deposição indiscriminada dos RSU na área, fato este que pode ser confirmado pelos elevados índices dos parâmetros analisados.

Os resultados da DBO₅ e de DQO de amostras de água coletada no córrego, a jusante do aterro, evidenciam a contaminação dos recursos hídricos podendo ser comprovada pelos valores de DBO₅ que a jusante apresentou: 223 mg/L na estação seca e 193 mg/L na estação chuvosa. Os elevados valores para a DBO₅ quando comparada ao estabelecido na Resolução CONAMA nº 357 estão relacionados, sobretudo as concentrações de materiais orgânicos presentes nas amostras de água, sobretudo provenientes da massa de lixo confinada na área. E sua concentração pode estar relacionada ao deslocamento destas substâncias para os poços de monitoramento de jusante em virtude do deslocamento do fluxo de águas subterrâneas.

Para as mesmas amostras os valores de DQO também evidenciaram contaminação. Foram encontrados os seguintes valores para a DQO: 411 mg/L na estação seca e 357 mg/L na estação chuvosa. Observa-se que valores dos mesmos parâmetros foram bem superiores ao encontrados nas amostras de água coletadas à montante do aterro. Estes foram, respectivamente, 5,0 mg/L na estação seca e 6,3 mg/L na estação chuvosa, 8,0 mg/L na estação seca e 11,0 mg/L na estação chuvosa.

As amostras coletadas nos poços de monitoramento de águas subterrâneas à montante e à jusante também apontaram para níveis de contaminação que pode ser confirmado pelos elevados valores da DBO₅ e DQO. Em uma análise detalhada, observa-se que as amostras coletadas no poço à montante, apesar de estar fora da área de abrangência do aterro também apresentam indícios de contaminação, uma vez que as análises apresentaram 5,0 mg/L de DBO₅ no período seco e 8,1 mg/L na estação chuvosa. A DQO apresentou 8,0 mg/L na estação seca e 15,0 mg/L na estação chuvosa.

Já os poços à jusante foram os que apresentaram maiores aumentos da DBO₅ e DQO, os valores da DBO₅ encontrados para o Poço 2 de jusante foi de 77 mg/L na estação seca e 80 mg/L na estação chuvosa. A DQO apresentou 146 mg/L na estação seca e 154 mg/L na estação chuvosa. Estes dados podem estar relacionados a grande quantidade de cargas orgânicas em decomposição e a ineficácia dos tanques de tratamento biológico, que na área estão totalmente assoreados.

Entre os dois poços de monitoramento à jusante, o que mais apresentou níveis de contaminação foi o poço de jusante 3, o qual apresentou os seguintes valores: DBO₅, 95 mg/L na estação seca e 124 mg/L na estação chuvosa. A DQO apresentou 173 mg/L na estação seca e 232 mg/L na estação chuvosa. Os elevados valores para esse poço está relacionado sobretudo ao fluxo das águas que escoam na direção do mesmo. Dessa forma o poço 3 acaba por apresentar níveis mais elevados dos parâmetros analisados.

Esse aumento significativo nos valores da DBO₅ e DQO parece indicar que, juntamente com o fluxo das águas subterrâneas, está havendo o arraste de contaminantes, uma vez que se observa a concentração dos mesmos em todos os pontos de coleta, tanto nas águas subterrâneas quanto nas águas superficiais, sendo seus valores superiores ao estabelecido na Resolução Conama nº 357.

O pH também é um parâmetro que fornece dados relativos às condições ambientais de um dado corpo hídrico, uma vez que as características relativas à acidez, à neutralidade ou à alcalinidade da água fornecem subsídios para a interpretação da qualidade ambiental dos recursos hídricos analisados. Assim, o impacto produzido pelo chorume sobre os recursos hídricos está diretamente relacionado com sua fase de decomposição. O chorume de aterros novos, quando recebe quantidades significativas de águas pluviais é caracterizado por pH ácido; no entanto, apesar do aterro ter aproximadamente 13 anos, as características de seu potencial hidrogênionico ainda remetem ao ambiente em processo de oxidação da matéria orgânica presente na massa de lixo, o que vem favorecendo a contaminação por esses compostos.

A faixa de pH varia de 0 a 14 e a interpretação desse parâmetro se baseiam na seguinte escala: pH < 7 indica condições ácidas, pH = 7 indica neutralidade e pH > 7 indica

condições básicas. Em amostras de água onde o pH se distancia da neutralidade pode ser prejudicial à vida aquática e aos microorganismos responsáveis pela “purificação da água” (VON SPERLING, 1996). As águas naturais tem valores de pH 5 a 9. Segundo a CETESB (1998), a Organização Mundial de Saúde, por meio dos padrões internacionais estabelecidos em 1971, recomenda teores máximos desejáveis e permissíveis respectivamente de 7,0 a 8,5 e de 6,5 a 9,2.

A partir das análises de águas coletadas na área de pesquisa, foi possível determinar que ainda está havendo oxidação da matéria orgânica contida na massa de lixo, fato este que pode ser afirmado pelo baixo valor do pH encontrado em grande parte das amostras de água analisadas durante a estação seca, indicando características ácidas. Fato este que pode estar intimamente relacionado à carga orgânica confinada na célula do aterro controlado.

O único poço de monitoramento que se manteve próximo ao pH neutro foi o poço de águas subterrâneas à montante (Poço 1). Este apresentou pH na faixa de 7,16 na estação seca e 7,31 na estação chuvosa. Esta condição de pH pode estar associada a inúmeros fatores, entre os quais a possibilidade do poço ter sido instalado na “borda” da pluma de contaminação, o que implicaria em baixas concentrações de compostos orgânicos ou mesmo uma dispersão dos compostos neste ponto em função do elevado nível freático.

Os poços de jusante 2 e 3 apresentaram, respectivamente, pH de 5,85 e 5,93 na estação seca, apresentando condições ácidas. Enquanto que na estação chuvosa observa-se um aumento significativo nos valores de seu potencial hidrogênionico, sendo de 6,15 para o poço 2 e de 6,18 para o poço 3. Este aumento do pH, supõe-se, está relacionado ao fato de que durante a estação chuvosa ocorre uma dispersão da matéria orgânica em função da percolação de águas pluviais nas células do aterro e aumento do nível freático, apresentando, no entanto, características relativamente próximas à neutralidade no período chuvoso para alguns poços de monitoramento.

As amostras de águas superficiais coletadas no córrego apresentaram pequenas variações em seu pH. Os resultados apontaram as seguintes condições: nas amostras coletadas no córrego à montante da área, o pH apresentou-se na faixa de 6,73 e à jusante

6,26 na estação chuvosa. Na estação seca, os valores para o ponto de montante ficou estabilizado na faixa de 6,41, enquanto que para o ponto de jusante o pH foi de 5,95, tendo uma queda em seu pH, indicando que, possivelmente no período chuvoso, apesar do volume de águas que entra no sistema, há um carreamento mais acentuado de compostos orgânicos para este ponto, o que acaba conferindo tais características.

Outro parâmetro que apresentou índices elevados foi a Dureza de Cálcio. Embora, a dureza de cálcio possa estar relacionada à dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio, relaciona-se também a despejos industriais e entulhos da construção civil, uma vez que grande parte destes resíduos (entulhos) apresenta, em seus constituintes, produtos processados a partir do calcário, como cimento, cal dentre outros (VON SPERLING, 1996).

Ainda segundo o mesmo autor, não há evidências de que a dureza de cálcio cause problemas de ordem sanitária, porém pode ser um indicativo de contaminação causada por ações antrópicas.

Do período seco à estação chuvosa, observou-se uma pequena variação na dureza de cálcio nas amostras de água coletada no poço de monitoramento do córrego (montante), que foi de 1,0 mg/L. No entanto, para os poços de monitoramento à jusante, foram os que se observaram maiores concentrações. Para o poço à jusante (córrego), este parâmetro foi da ordem de 1780 mg/L para a estação seca e 1881 mg/L para a estação chuvosa, apresentando um aumento significativo de 101,0 mg/L, comprovando que a contaminação dos mananciais hídricos estão intimamente relacionados à disposição dos resíduos sólidos na área.

Nos poços de monitoramento de águas subterrâneas, foram observados os seguintes valores: o Poço à montante (Poço 1) se manteve na faixa de 3,0 mg/L, independente do período analisado. Para os poços à jusante, houve variações em seus valores: para o Poço 2 (à jusante) as análises apontaram para concentrações de 840 mg/L na estação seca e 781 mg/L na estação chuvosa. Para o Poço 3 (à jusante), os seguintes valores: 760 mg/L na estação seca e 824 mg/L na estação chuvosa.

Outro parâmetro que reflete as condições de qualidade da água e que não se enquadrou no estabelecido na Resolução Conama nº 357 são as substâncias que comunicam gosto ou odores. Estas devem ser virtualmente ausentes nos corpos hídricos das classes I, II e III; todavia, foi detectado, por análises organoléptica, forte mau cheiro próximo às caixas de tratamento biológico e em todas as amostras de água coletadas na área, tanto nos poços de monitoramento de águas subterrâneas quanto nas águas de superfícies. Estas características também apontam para contaminação dos recursos hídricos, uma vez que evidenciam a decomposição de materiais orgânicos, gerando a liberação de gases dissolvidos na água, supostamente gás Sulfídrico (H_2S).

Quanto à presença de metais pesados como: Cádmio, Chumbo, Mercúrio e Cromo, em nenhuma das amostras analisadas, nos dois períodos, foram observados traços destes elementos, de acordo com a metodologia utilizada. A não detecção destes metais leva a supor que as suas concentrações estejam abaixo do valor de detecção dos equipamentos utilizados, que é de 0,01 mg/L para o Cádmio e 1 mg/L para o Mercúrio. Embora a existência de traços destes metais possa estar abaixo da detecção pelo método utilizado, tais elementos são acumulativos no solo e em organismos vivos, podendo causar sérios problemas de saúde em seres humanos e animais, caso estas águas sejam ingeridas por um longo período.

De forma geral, as variações observadas nos parâmetros analisados evidenciam que ocorre contaminação dos recursos hídricos. Por outro lado, não existe ação por parte do poder público, responsável pela disposição dos resíduos na área, no sentido de minimizar a contaminação. A ausência de ações efetivas acaba por comprometer a qualidade dos recursos hídricos locais e em áreas adjacentes ao aterro de resíduos e, até mesmo, regionais quando se trata de águas superficiais.

CAPÍTULO 6

PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA

Aqui são apresentadas algumas propostas de recuperação, baseadas nos trabalhos já realizados na área de estudo.

Para a recuperação de áreas degradadas pela disposição indiscriminada de resíduos sólidos urbanos, existem inúmeros procedimentos técnicos que são aplicados na correção e na mitigação dos impactos ambientais gerados pela disposição dos resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, procurou-se apresentar algumas técnicas já executadas em áreas degradadas por estas atividades, inclusive procedimentos já utilizados na área em estudo.

6.1 – Isolamento da área

A área de estudo além da utilização como aterro controlado é também utilizada como área de confinamento de gado em pastagem. No entanto, a movimentação do gado em direção ao canal fluvial para dessedentação vem imprimindo caminhos no solo que acabam, em períodos de chuva, se tornando canais preferenciais do fluxo de águas superficiais e, desse modo, desencadeia processos erosivos. Na margem e calha do córrego adjacente, a erosão também se observa no pisoteamento do gado, que acaba por acelera os processos erosivos, contribuindo para o assoreamento do canal e das caixas de tratamento biológico que se encontram à jusante da área. A ocupação pela pecuária

na área do aterro deve ser inibida, visando evitar a contaminação dos animais e o desenvolvimento dos processos erosivos.

Para o isolamento da área do aterro, podem ser utilizadas medidas como cercas de arame liso ou farpado, evitando-se, assim, a entrada do gado nestas áreas.

6.2 – Processos erosivos

Na área estudada, foram identificadas várias feições, entre as quais erosão laminar, ravinamentos e, em estágio mais avançado, uma voçoroca à jusante do aterro. O desencadeamento de feições erosivas está contribuindo para o afloramento do lixo confinado na área, contribuindo para o assoreamento do córrego, para o entulhamento dos tanques de tratamento biológico e na poluição visual da área.

Para a minimização da ação dos processos erosivos, existem inúmeras técnicas preventivas e corretivas aplicadas à recuperação de áreas atingidas pelos processos erosivos. Algumas destas técnicas foram aplicadas na área de estudo pela Prefeitura Municipal de Uberlândia.

A seguir, apresentam-se os procedimentos técnicos para a contenção da erosão: curvas de nível e terraços são de grande valia em áreas com declividades superiores a 5%. As curvas de nível e os terraços auxiliam na diminuição do fluxo de águas superficiais (*runoff*), além de impedir que as águas do escoamento superficial provoquem ravinamentos, a exemplo das voçorocas.

Em grande parte, o aterro se encontra desprotegido, ou seja, nenhuma ou pouca cobertura vegetal. Nesse caso, deve ser introduzido juntamente com as curvas de nível o plantio de espécies forrageiras do tipo *Brachiaria sp*, pois estas possuem um importante papel na minimização dos impactos da chuva sobre o solo (*splash erosion*) e, principalmente, visando reduzir a energia da água de escoamento superficial.

Em pontos onde o lixo começa a aflorar em decorrência da erosão laminar, é recomendado que estas áreas sejam novamente aterradas com uma camada de solo de 15 a 20 cm aproximadamente e, ainda, que nestes locais sejam realizadas medidas que minimizem o escoamento superficial, tal como as curvas de nível e o plantio de espécies forrageiras.

Quanto às feições erosivas aceleradas do tipo voçoroca, propõe-se o monitoramento e a recuperação das mesmas. Para tanto, são sugeridas técnicas propostas pela Deflor Bioengenharia:

- 1) limpeza geral da área (remoção de terra solta);
- 2) acerto manual das arestas laterais da erosão;
- 3) execução de paliças (postes) de eucalipto, de baixo para cima, na seguinte sequência:
 - instalação de hastes de eucalipto com diâmetro de 6 a 10 cm, a cada 80 cm, pré-tratados;
 - execução do aparamento com bambus, amarrados fortemente entre si e às hastes, com arame galvanizado;
 - preenchimento da cavidade obtida, até o topo do eucalipto com solo vegetal misturado com argila na proporção de 40% de solo vegetal e 60 % de argila;
 - executar, no plano horizontal obtido, covas de 30 x 30 cm por 40 cm de profundidade, espaçadas, onde for possível, em malha de 1,00 x 1,00 m;
 - plantar em covas, vegetação arbustiva nativa e adaptável à região (mudas com altura máxima de 1,50 m);
 - o re-aterro das covas deverá ser feito com terra, misturada à adubação, composta de:

* adubação corretiva: calcáreo dolomítico, 150g;

* adubação orgânica: 150g;

* adubação química: 200 g (formulação de 10:20:10 – NPK mais 5% de enxofre);

- no espaço remanescente tanto horizontal quanto lateral, lançar sementes de gramíneas consorciadas às leguminosas do tipo rasteira, hidrosemeadura ou semeadas manualmente, na razão de:

* gramíneas: braquiaria decumbens, braquiaria humidícula, capim gordura-melinis – 5 g de cada espécie (total de 15g/m²);

* leguminosas: sirato e cetrosema, 3 g/ m² de cada espécie.

4) critérios de adubação da semeadura:

* orgânica: empregar esterco de frango na proporção de 150 g/ m² e papelão triturado na proporção de 100g/m²;

* química: formulação 4:30:10 (NPK) na quantidade de 60g/m².

Observa-se, contudo, que o sucesso da solução proposta está condicionado e depende fundamentalmente da eficiência do sistema de drenagem superficial e do acompanhamento do desenvolvimento das diversas espécies e o seu completo estabelecimento vegetativo.

A FIGURA 6.61 representa a metodologia mencionada pela Deflor Bioengenharia, como metodologia de recuperação de processos erosivos (voçoroca).

6.3 – Drenagem pluvial

Também devem ser recuperados os drenos de captação de águas pluviais e escadas dissipadoras de energia hidráulica. Foi observado que as calhas de escoamento pluvial em pontos localizados estão rompidas e assoreadas; nesse caso, em grandes picos de chuva, as águas pluviais extravasam para as células, contribuindo para a acumulação, erosão e percolação de águas nas células do aterro. Nesse caso, é recomendada a recuperação das mesmas.

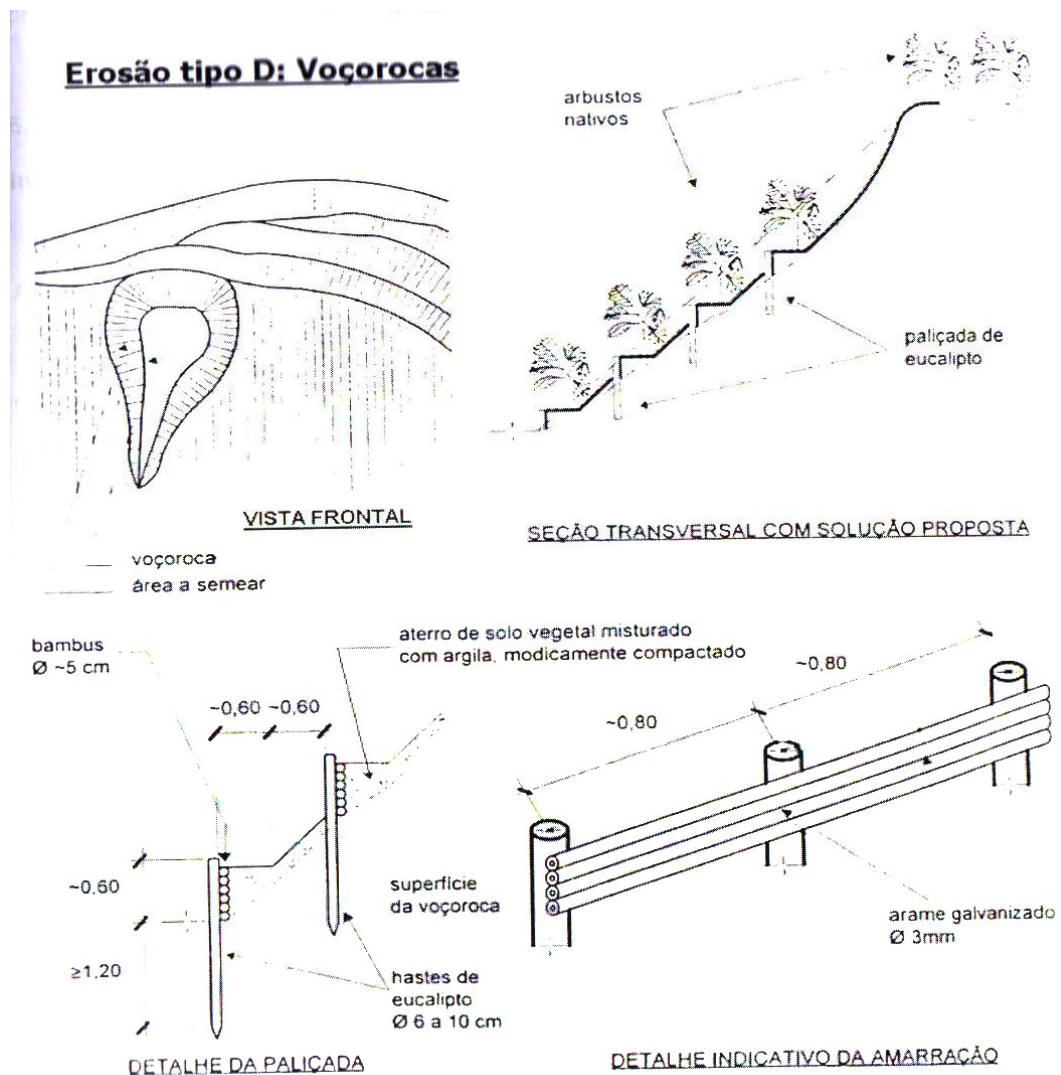


FIGURA 6.61: Metodologia aplicada em recuperação de voçorocas.

FONTE: www.deflorbioengenharia.com.br.

6.4 – Tratamento biológico de efluentes e águas subterrâneas

De acordo com Lima (1995), o tratamento biológico compreende um conjunto de tecnologias simples e bastante eficazes para a redução das cargas orgânicas encontradas

na decomposição do chorume. Por ser um processo natural, além de promover o tratamento adequado ao meio, seu custo é relativamente baixo se comparado a outras metodologias convencionais de tratamentos.

Na concepção do projeto de recuperação da área, optou-se pela implantação de um filtro anaeróbico com tempo de detenção interna de 10 horas, associado a um filtro biológico, com tempo de detenção interna de 14 horas. No entanto, os efluentes gerados na decomposição da massa de lixo estão gerando poluição localizada tanto nas águas subterrâneas quanto nas águas superficiais. Essa contaminação se deve supostamente à falta de critérios técnicos para a recuperação da área e, principalmente, na falta de monitoramento da mesma.

Como proposta de melhoria da qualidade dos recursos hídricos, recomenda-se a recuperação do sistema de tratamento biológico. Para tanto, são necessárias ações como capinas no entorno das caixas de tratamento para facilitar a acessibilidade de pessoal. Em seguida, fazem-se necessárias a drenagem e a limpeza do interior das caixas, uma vez que se encontram totalmente assoreadas; outras ações necessárias referem-se à renovação dos filtros anaeróbios, bem como dos demais equipamentos que integram o sistema de tratamento, e a recuperação das canaletas que direcionam o percolado até o sistema de tratamento biológico.

A recirculação do chorume é outra ação positiva. Esta técnica consiste em drenar os líquidos gerados pela decomposição da massa de lixo e re-introduzi-los no sistema (aterro). Esta técnica reduz consideravelmente a demanda sobre as estações de tratamento, uma vez que se constitui de um pré-tratamento, reduzindo as cargas orgânicas e conseqüentemente as concentrações de DBO/DQO.

Segundo Qasim; Chiang (1994 apud IPT-CEMPRE, 2000), esta técnica reduz consideravelmente as concentrações orgânicas. Em estudos realizados pelos mesmos autores, observou-se uma redução de 20.000 mg/L para 1.000 mg/L de matéria orgânica após um ano de tratamento. Esse resultado, segundo estes autores, é obtido uma vez que as células funcionem como um reator anaeróbio, capaz de reduzir a elevada carga orgânica do chorume.

As águas subterrâneas também podem ser drenadas e tratadas aplicando-se de técnicas semelhantes, porém tomando-se cuidados específicos para que a qualidade da água subterrânea não se agrave mais do que a apresentada. A utilização destas técnicas, associadas a outras metodologias citadas, pode reduzir consideravelmente as concentrações orgânicas e o volume da pluma de contaminação que se supõe existir sob as células do aterro, proporcionando, assim, a melhoria da qualidade ambiental dos recursos hídricos locais e adjacentes.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Procurou-se, durante o desenvolvimento da pesquisa, caracterizar os principais fatores causadores dos impactos ambientais em curso na área estudada em decorrência da disposição indiscriminada dos resíduos sólidos urbanos em uma das voçorocas da Fazenda Douradinho, situada no município de Uberlândia-MG.

As informações geradas trazem à tona os impactos ambientais que ainda persistem na área, apesar dos trabalhos de remediação implementados na área em 1999. No entanto, no decorrer dos estudos pôde-se observar que inúmeros impactos ambientais ainda estão em cursos, tais como contaminação das águas superficiais e subterrâneas, do solo, da atmosfera, além dos impactos visuais.

Com base nos levantamentos e estudos realizados na área, as seguintes conclusões podem ser expressas:

- 1 - os procedimentos técnicos de engenharia aplicados na área não obtiveram bons resultados;
- 2 - destaca-se, nesta investigação, a ineficácia do projeto de remediação da área proposto no relatório protocolado junto à FEAM, além da área apresentar-se totalmente abandonada do ponto de vista dos monitoramentos ambientais propostos no relatório;
- 3 - os recursos hídricos superficiais e subterrâneos estão comprometidos pela contaminação causada pelo chorume; a partir das análises de parâmetros físico-químicos foi possível determinar suas concentrações que, a princípio, encontram-se muito acima dos

estabelecidos pela Resolução Conama N ° 357, para corpos d' água da classe II e III;

4 - até o presente momento, a água subterrânea e superficial da área estudada, de acordo com o resultado das análises, não apresentam riscos à saúde humana no que se refere à presença de metais pesados, pois, segundo os resultados, não foram encontrados teores de metais nas amostras coletadas que superassem os níveis estabelecidos na Resolução Conama nº 357, embora grande parte dos parâmetros físico-químicos tenha apresentado valores bem acima dos limites estabelecidos pela Resolução, indicando a necessidade de dar continuidade ao monitoramento dos agentes químicos, de forma permanente nos corpos d' água;

A partir dessa pesquisa foi possível gerar um diagnóstico da situação ambiental da área do aterro, mesmo após sete anos da conclusão do projeto de remediação que objetivou sua recuperação.

Espera-se, com este trabalho, contribuir, também, para a tomada de decisões político-ambiental no que se refere à mitigação dos impactos em curso na área.

Neste sentido, espera-se que as informações geradas durante o presente estudo tenha sua relevância não apenas no âmbito das informações apresentadas, mas também na necessidade de reabilitação da área quanto à sua reintegração ao meio ambiente.

A essa altura, acredita-se que a pesquisa realizada, ao mesmo tempo que pode proporcionar uma visão da problemática suscitada, bem como algumas respostas para a área, quanto à qualidade ambiental da mesma (e experiência para casos semelhantes), configurou-se em um desafio a ser atendido por trabalhos futuros, pois outras questões se colocam no horizonte desta pesquisa: por exemplo, no plano de origem (o aterro) avaliar o progresso da decomposição do material disposto no lixão, passado alguns anos de seu início e término e, com isso, mensurar o potencial de contaminação do mesmo e, em um plano mais geral, verificar conseqüências da presença do aterro nas áreas

adjacentes, notadamente os recursos hídricos – o que não foi possível ser realizado em vista dos recursos e prazos estabelecidos para um Curso de Mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. **Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13895. **Construção de poços de monitoramento e amostragem**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896. **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projetos, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457. **Amostras de solo – preparação para ensaio de compactação e causas de caracterização**. Rio de Janeiro, 1979 .

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5734. **Peneiras para ensaio - Especificação**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181. **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7185. **Determinação da massa específica aparente, “in situ”, emprego do frasco de areia**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457. **Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de cauterização**. Rio de Janeiro, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Resolução CONAMA nº 05/1993**. Disponível em: <http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=7869>>. Acesso em: 25 de Outubro de 2005.

AGENDA 21 – Disponível em:

http://www.mma.gov.br/index.cfm?id_estrutura=18&id_conteudo=575. Acesso em: 22 de julho de 2005.

ALBERTE et al. Recuperação de Áreas Degradadas por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. In: **Diálogos & Ciência** - Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Ano III, nº 5, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.ftc.br/revistafsa>> Acesso em : 20 de Junho de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL - **Diretrizes para execução de sondagens**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL - **Ensaios de permeabilidade de solos** – Orientação para execução no campo. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Boletim nº 4; 3ª edição, 1.996.

ATERRO SANITÁRIO DE CAXIMBA. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/pmc/curitiba/bairros/bairro.asp?bcod=27&codgrupo=11>>. Acesso em 20 de Outubro de 2005.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL - BNDES. **Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte**. Disponível em: <http://federativo.bndes.gov.br/>. Acesso em 19 de outubro de 2005.

BASTOS, A. C. S.; FREITAS, A. C. In: GUERRA, J, T, A. CUNHA, S, B. (Org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2002. p 17-75.

BRANCO, S. M. **Poluição: a morte de nossos rios**. Rio de Janeiro: Livro técnico, 1972.

BRASIL. Lei Federal 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/leis/1998_Lei_Fed_9605.pdf> . Acesso em: 26 de Novembro de 2005.

BRASIL. DECRETO FEDERAL Nº 24.643, DE 10 DE JULHO DE 1934. **Código das águas**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/outras_leis/recursos_hidricos/aguas_super/decfed2464334.htm>. Acesso em: 04 de novembro de 2005.

BRASIL. **Constituição da Republica Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/sf/legislacao/const/>>. Acesso em 10 de Novembro de 2005.

CALDERONI, S. Aspectos econômicos da reciclagem do lixo: viabilidade econômica e metodologia de mensuração aplicada aos casos do município de São Paulo e do Brasil. In: **RESID' 99**: Seminário sobre resíduos sólidos. Promoção: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia. São Paulo, 1999.

CARVALHO, A. L. **Contaminação de águas subsuperficiais em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos – O caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. Viçosa: UFV, 2001. Dissertação de Mestrado.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais. Serie Atlas da Cetesb**. SÃO PAULO, 1985.

COLETA E DISPOSIÇÃO FINAL DE LIXO. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./residuos/index.php3&contedo=./residuos/lixo.html>>. Acesso em 13 de outubro de 2005.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/pesquisa/mat_procfis_quim_tec.asp> Acesso em 19 de Outubro de 2005.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/relex/mre/agintern/meioamb/index.htm>> Acesso em 25 de agosto de 2005.

COTRIM, G. **História Global**. São Paulo: Saraiva, 1997.

DAMASCENO, D. Q. **Estudo do Impacto de Processos Educativos Sobre a Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos no Distrito de Tapuirama – Uberlândia (MG)**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. Dissertação de Mestrado.

DEL GROSSI, S. R. A dinâmica climática atual de Uberlândia e suas implicações geomorfológicas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 9-10, ano 5, p.115-120, jan./dez. 1993.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/copam/copam.htm>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2005.

DELIBERTAÇÃO NORMATIVA COPAM nº 75, de 25 de Outubro de 2004. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/action/consultaPublicacoes.do>>. Acesso em: 11 de Novembro de 2005.

DOMINGUES, M. M. O. **O aporte da comunidade escolar à coleta diferenciada de resíduos sólidos domiciliares**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. Dissertação de Mestrado,

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.

GUERRA, J. T. A; CUNHA, S, B. (Org). **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

GUERRA, J. T. A; CUNHA, S, B. (Org). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. São Paulo: Bertrand Brasil, 1994.

HENNIGAN, R, D. **Orígenes y control de la contaminación ambiental**. México: Compañía Editorial Continental, 1973.

HIRATA, R.; FOSTER, S.; VENTURA, M. Poluição em águas subterrâneas. In: **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Ribeirão Preto, SP, 1987.

IBGE - INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA, 2002. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicoesdevida/pnsb/>>. Acesso em 29 de Agosto de 2005.

INDEREC. Disponível em: <http://www2.fiemg.com.br/scripts/sr-sites/adicional.asp?est=7&uni=13830&pagina=%C3%9Altimas%20Not%C3%ADcias>
Acesso em: 20 de outubro de 2005.

INFORMAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE OS PARÂMETROS DO KIT DE ANÁLISE DE ÁGUA. Disponível em:<http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt9.html#nitro>. Acesso em 23 de outubro de 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM. **Manual do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: < <http://www.ibam.org.br/-publique/media/manualRS.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2005.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Disponível em:<<http://www.igam.mg.gov.br/>>. Consultado em: 25 de Outubro de 2005.

INSTITUTO PARA A DEMOCRATIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO BÁSICO E MEIO AMBIENTE. Disponível em:<<http://www.resol.com.br/>>. Acesso em 26 de Setembro de 2005.

IPT/CEMPRE. D'almeida, M. L. O; Vilhena, A. (Coord.). **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

JUCÁ, J.F.T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: **Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geotécnia Ambiental – REGEO**, Porto Alegre, 2003.

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

LIMA, S, C. et al. **Avaliação Ambiental do Aterro Sanitário de Uberlândia-MG**. Prefeitura Municipal de Uberlândia/Universidade Federal de Uberlândia, 2002.

LIXÃO DE MOSSORÓ. Disponível em: <<http://www2.uol.com.br/omossoroense/mudanca/>>. Acesso em 22 de Setembro de 2005.

MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/residuossolidos/residuossolidos_2.asp#topo>. Acesso em: 29 de Outubro de 2005.

MENDONÇA, Mauro G. **Políticas ambientais e condições de Uberlândia-MG, no contexto estadual e federal**. 2000. 223 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.

MUNÔZ, S, I, S. **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, Universidade de São Paulo-USP, 2002.

NET RESÍDUOS. Disponível em: <<http://www.netresiduos.com>> Acesso em 04 de julho de 2006.

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, n. 1, p. 09-15, jun. 1989.

O CENARIO DOS RESIDUOS SOLIDOS NO BRASIL. Disponível em: <<http://www.ibam.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm>> Acesso em: 08 de Julho de 2005.

PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS. Disponível em: <<http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>> Acesso em: 19 de Outubro de 2005.

PAZZINATO, A, L. SENISE, M, H, V. **História Moderna e Contemporânea**. Ed. Ática, São Pulo (SP), 1995.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2000. PNSB, 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>>. Acesso em: 22 abr. 2005.

PHILIPPI JR, A. Agenda 21 e resíduos sólidos. In: **RESID' 99: Seminário sobre resíduos sólidos**. Promoção: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia. São Paulo, 1999.

PORTARIA Nº 518, ANVISA – AVENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA. DISPONIVEL EM: <http://dtr2004.saude.gov.br/dab/saudebucal/legislacao/portaria518_25_03_04.pdf> Acesso em: 19 de jul. 2006

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA – PMU. **Remediação do lixo (reabilitação do antigo depósito a céu aberto de lixo)**. Relatório do Final de Obras. Uberlândia: PMU, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA – PMU. **Tratamento e destinação final de resíduos sólidos de Uberlândia**. Informações complementares. Uberlândia: PMU, s./d.

RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Levantamentos de recursos naturais**. Rio de Janeiro, v. 31, 1983. 76p.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Disponível em: <<http://www.deflor.com.br>>. Acesso em: 25 de Junho de 2006.

RESOLUÇÃO CONAMA 357. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 19 de Outubro de 2005.

RODRIGUES, L. **Aplicação da técnica de avaliação de terrenos na bacia do córrego dos Macacos, Uberlândia (MG), com ênfase em erosão dos solos**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. (Dissertação de Mestrado).

SERAFIM et al. Chorume, Impactos Ambientais e possibilidades de tratamentos. In: **III Fórum de estudos contábeis**, 2003. Disponível em: <www.ceset.unicamp.br/lte/Artigos/3fec2402.pdf> Acesso em 13 de Outubro de 2005.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1989.

SUPERINTENDENCIA DE AGUA E ESGOTO DE ITUIUTABA. Disponível em: <www.saeituiutaba.com.br/?contexto=040402>. Consultado em: 25 de Setembro de 2005.

TORMIN FILHO et al. Caracterização Geotécnica de Solos Superficiais de Uberlândia. In: II Simpósio Sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, UFG-2005

Universidade da água. disponível em:

<<http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=dicionario.htm>> Acesso em: 19 de Outubro de 2005.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: MCGRAW-HIL do Brasil, 1978.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de engenharia sanitária e ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

ZULAUF, W, E. **Brasil Pensa: o Lixo Urbano**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 1986. (Fita VHS).