UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À GESTÃO
DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA UGRHI-11 –
RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL**

Fabício Bau Dalmas

Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Meio Ambiente

São Paulo

2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À GESTÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS NA UGRHI-11 – RIBEIRA DE IGUAPE
E LITORAL SUL**

Fabício Bau Dalmas

Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo
2008

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação
do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Dalmas, Fabrício Bau

Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos
sólidos na UGRHI-11 - Ribeira de Iguape e litoral
sul / Fabrício Bau Dalmas. - São Paulo, 2008.

157 f. : il. + anexos + mapas

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP

Orient.: Macedo, Arlei Benedito

1. Geoprocessamento 2. Resíduos sólidos 3.
Gestão ambiental 4. UGRHI-11 I. Título

À minha família, por acreditar e investir em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Cyro José Dalmas e Elourdes Maria Bau Dalmas por terem sempre acreditado em mim. Aos meus irmãos, Sandro Bau Dalmas e Lissandra Bau Dalmas pelas palavras de motivação. Ao grande patriarca da família, meu avô Celeste Dalmas e a toda a minha família.

Ao Antônio Carlos Barbaro Ebling, à Janice Caram e Judith Caram pelo apoio incondicional; e em especial à Carolina Caram de Oliveira, que foi de extrema importância pela sua companhia e por seus conselhos, em todos os momentos.

Ao André Passaglia Schuch e seus pais Dr. Nelson Jorge Schuch e Dra. Augusta Passaglia Schuch, pessoas que tiveram fundamental importância na minha vinda para São Paulo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – processo 2006/57073-6), pelo auxílio pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia e ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do IGc-USP.

Aos colegas da sala de pesquisa - 105, Jorge Watanabe, Yuri Maman, Yuri Bugarin, Marcelo da Silva, Cibele Hummel do Amaral, Orjana Carvalho e em especial ao Sidney Schaberle Goveia, pela constante ajuda. Às colegas Débora Mendes e Silvia Cremonez Nascimento. Também agradeço ao Fábio Rodrigo de Oliveira, fundamental nas discussões sobre o processamento dos meus dados.

Aos professores Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, por sua dedicação. Ao Prof. Marcelo Rocha, pelas constantes e importantes discussões. Ao Prof. Ricardo Hirata, pelo

auxílio na ponderação das classes geológicas. Ao Administrador do Laboratório de Informática Geológica, Antônio Tadashi Kikuda, pelo auxílio e pela amizade.

Às funcionárias da Secretaria de Pós-Graduação, Ana Paula Cabanal e Magali Poli Fernandes Rizzo, pela paciência e pelas ajudas prestadas. Aos funcionários da Seção Gráfica do IGc-USP, sempre muito atenciosos.

Aos membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (CBH-RB), pelo auxílio nas viagens de campo e na disponibilização de mapas e outros.

Ao Herbert Schulz, Geólogo do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) que, com sua experiência e conhecimento na região do Vale do Ribeira, foi fundamental neste projeto.

Ao Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Heinrich Hasenack, que sanou várias dúvidas em relação ao programa IDRISI. Ao Professor da Universidade Federal de Santa Maria, Ricardo Dalmolin, pelo auxílio na ponderação das classes pedológicas.

Finalizando, ao grande responsável pelo êxito deste trabalho. Uma pessoa que confiou em mim, mesmo não me conhecendo, que investiu e até insistiu muito na minha formação. Deixo um especial agradecimento ao amigo e orientador, Prof. Arlei Benedito Macedo e a sua esposa Anna Schulz, também mais do que uma amiga, uma grande conselheira.

RESUMO

Dalmas, F. B. *Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11 – Ribeira de Iguape e litoral sul*. 2008. p. 157. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº11 (UGRHI11), Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul, Estado de São Paulo, apresenta avanços na gestão de resíduos sólidos, porém ainda há municípios carentes de aterros adequados. Os objetivos deste trabalho são: indicar possíveis áreas aptas à construção de aterros de resíduos sólidos urbanos, que preferencialmente possam atender a mais de um município, de acordo com normas técnicas e ambientais, como preceitua a Lei Estadual nº12.300, que incentiva a cooperação intermunicipal para a solução dos problemas de gestão de resíduos sólidos; e atualizar os conhecimentos sobre as atuais condições de destinação de resíduos na UGRHI-11. Foi feito levantamento de campo, o qual revelou que as condições de disposição final de resíduos em diversos municípios são ainda mais precárias do que as indicadas pelos IQR da CETESB. Os módulos Weighted Linear Combination (WLC) e Ordered Weighted Average (OWA) do programa IDRISI Andes (versão 15.01) foram utilizados para as análises multi-critério por geoprocessamento. Na primeira fase, o WLC foi empregado para cruzamento dos mapas de declividade, geologia, pedologia, cobertura vegetal, áreas de proteção ambiental, malha viária, rede hidrográfica e áreas urbanas, obtendo-se um mapa de aptidão com áreas inaptas, aptas e com aptidões intermediárias. Na segunda fase, o OWA foi utilizado para restringir a busca, através de um ordenamento de pesos mais complexo que o WLC. Após esta etapa, com a extensão Network Analyst do Programa ArcGIS, foi realizado um estudo logístico para seleção de áreas aproveitáveis para mais de um município, considerando-se a distância das

fontes geradoras de resíduos, as vias de transporte e o tamanho, mais precisamente, de acordo com as dimensões dos aterros que nelas poderiam ser construídos, considerando a possibilidade de atendimento a valores crescentes de população até 2020, pois, de acordo com a NBR 13896 (junho de 1997), a vida útil de um aterro de resíduos deve ser de no mínimo 10 anos. Em todos os municípios foram localizadas áreas aptas para aterros que atendam a sua população. Foram também encontradas áreas que podem atender mais de um município, graduadas por tamanhos e distâncias às sedes. As técnicas de geoprocessamento empregadas mostraram-se adequadas aos estudos de gestão de resíduos sólidos, pois agregam diferentes fatores e poupam custos nas etapas iniciais, permitindo ao gestor focar análises mais detalhadas em áreas pré-selecionadas, não correndo o risco de empenhar esforços em áreas que podem ser previamente descartadas. O encontro de áreas consideradas aptas para aterros coletivos pode apoiar tecnicamente a articulação intermunicipal, servindo estudos deste tipo como importantes ferramentas para a gestão eficiente de resíduos sólidos urbanos.

Palavras-chave: SIG, gerenciamento de resíduos sólidos, meio ambiente, UGRHI-11, Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira.

ABSTRACT

Dalmas, F. B. *Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11 – Ribeira de Iguape e litoral sul*. 2008. p. 157. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The water resources managing unit 11 (UGRHI-11), Ribeira de Iguape river Drainage Basin and São Paulo State Southern Coast, presents advances in the management of solid waste, but there are still municipalities deprived of adequate landfills. The objectives of this work are: to indicate possible suitable areas for construction of landfills for municipal solid waste, according to technical and environmental norms, that can be used by more than one municipality, according to Law 12300, which encourages cooperation among municipalities in order to solve problems of solid waste disposal, and to upgrade the knowledge about the actual conditions of final waste destination in UGRHI-11. A field survey of sites of final waste disposal revealed that the conditions of several of them were worse than those reported by the LQI (Landfill Quality Index) of CETESB. The IDRISI Andes system modules (version 15.01), Weighted Linear Combination (WLC) and Ordered Weighted Average (OWA), were used in multi-criteria GIS analysis. Initially, the WLC was used to combine slope, geology, soils, vegetation cover, environmental protection areas, road network, river system and urban areas maps, resulting in a combined suitability map. In a second moment, the OWA was applied to restrict the search, with a more complex ordering of weights. After OWA, using the Network Analyst extension of the ArcGIS system, a logistical study was carried out to classify the suitable areas, considering the distance of waste sources, roads and size, aiming at finding sites usable by more than one municipality. According to NBR 13896 (June 1997), the life span of a sanitary landfill must be at least 10 years. The possible sites were classified

according to the size of landfills that could be built in, also considering the possibility of population growth until 2020. Suitable areas for sanitary landfills were located at all municipalities considering individual needs. Then the search area and the size of acceptable areas were increased, locating sites that may attend to more than one municipality, ranked by size and distances to urban areas. The GIS techniques employed were considered adequate for solid waste management studies, allowing to take into account different factors and saving costs by discarding in early stages unsuitable areas, and to rank sites by suitability to larger landfills. Finding suitable areas for collective landfills can support political negotiations to an efficient management of municipal solid waste.

Keywords: GIS, solid waste management, environmental, UGRHI-11, Ribeira River watershed.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Considerações Iniciais.....	1
1.2 - Objetivos.....	3
1.2.1 - Objetivos Específicos.....	4
1.3 – Localização.....	5
1.4 – Justificativa.....	8
2 – RESÍDUOS SÓLIDOS.....	11
2.1 – Definição.....	11
2.2 - Classificação dos resíduos sólidos.....	13
2.3 - Tipos de disposição final de resíduos sólidos.....	14
2.3.1 - Sistema de operação de aterro sanitário.....	15
2.4 - Gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos.....	17
2.5 - Seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos.....	20
2.6 - Cooperação intermunicipal na gestão de resíduos sólidos urbanos.....	20
2.7 - Situação dos resíduos sólidos urbanos da UGRHI-11.....	22
2.7.1 - Levantamentos da CETESB.....	22
2.7.2 - Levantamento de campo das condições de disposição de resíduos urbanos da UGRHI-11.....	29
2.7.2.1 - Registros fotográficos.....	32
3 – DADOS DO MEIO FÍSICO.....	46
3.1 – Pedologia e Carta Pedológica da UGRHI-11.....	46

3.1.1 – Material de origem. Intemperismo.....	46
3.1.2 – Clima.....	48
3.1.3 – Relevo.....	48
3.1.4 – Organismos.....	49
3.1.5 – Tempo.....	51
3.1.6 – Solos da UGRHI-11.....	51
3.1.6.1 – Latossolos.....	53
3.1.6.2 – Terra Bruna Estruturada Distrófica.....	54
3.1.6.3 – Podzólicos.....	54
3.1.6.4 – Podzólico Bruno-Acizentado Eutrófico.....	56
3.1.6.5 – Podzol.....	56
3.1.6.6 – Brunizém Avermelhado.....	57
3.1.6.7 – Cambissolos.....	57
3.1.6.8 – Solos Gleizados.....	58
3.1.6.9 – Solos Orgânicos.....	59
3.1.6.10 – Solos Aluviais.....	60
3.1.6.11 – Solos Litólicos.....	61
3.1.6.12 – Solos de Mangue.....	61
3.2 - Geologia da bacia do rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul no Estado de São Paulo.....	62

3.2.1 - Embasamento Cristalino.....	65
3.2.2 - Magmatismo mesozóico.....	66
3.2.3 - Sedimentação Cenozóica.....	67
3.2.4 - Condicionamento geológico da área da Bacia.....	68
3.3 - Cobertura Vegetal.....	69
3.3.1 - Estudos Nacionais.....	70
3.3.2 - Estudos Regionais.....	70
3.3 - Unidades de Conservação da UGRHI-11.....	74
4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	80
4.1 - Cartografia Geotécnica.....	80
4.2 - Sensoriamento Remoto.....	80
4.3 – Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	83
4.3.1 - Sistema de Informações Geográficas voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.....	83
4.3.2 - Sistema de Informações Geográficas voltado à coleta e transporte de resíduos sólidos.....	87
5 – TÉCNICAS DE ANÁLISE EM GEOPROCESSAMENTO.....	89
5.1 - Modelo Numérico de Terreno e Mapa de declividade.....	89
5.2 - Avaliação por Critérios Múltiplos.....	94
5.3 - Padronização dos critérios.....	95
5.3.1 – Fator distância das áreas urbanas.	96
5.3.2 – Fator distância das principais vias (malha viária).	97

5.3.3 – Fator Vegetação.	97
5.3.4 – Fator Solos.	98
5.3.5 – Fator distância das Zonas de Cisalhamento e diques.	101
5.3.6 – Fator geologia.	103
5.3.7 – Fator Declividade.	105
5.3.8 – Fator distância da hidrografia.	106
5.4 - Ponderação dos critérios.....	107
5.5 - Análise por Combinação Linear Ponderada (CLP)	109
5.6 - Média Ponderada Ordenada (MPO)	111
5.7 – Área mínima necessária para aterros sanitários.....	114
5.8 - Análise das condições de transporte, visando à minimização do número de aterros.....	116
6 – CONCLUSÕES.....	139
7 – BIBLIOGRAFIA.....	142
ANEXOS.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul.....	6
Figura 2 – Método de aterramento em vala.....	16
Figura 3. Método de aterramento em rampa.....	16
Figura 4. Método de aterramento em área.....	17
Figura 5. Lixo coletado e IQR para a UGRHI-11.	27
Figura 6. Situação das áreas de disposição final de resíduos na UGRHI-11.....	27
Figura 7. Evolução do IQR médio para o Estado de São Paulo e UGRHI-11.....	28
Figura 8. Apiaí – lixo descoberto.....	32
Figura 9. Apiaí – ausência de sistema de drenagem de águas pluviais.....	32
Figura 10. Barra do Chapéu – lixo descoberto.....	32
Figura 11. Barra do Turvo – lixo descoberto.....	33
Figura 12. Cajati – lixo descoberto.....	33
Figura 13. Cajati – precário sistema de drenagem de águas pluviais.....	33
Figura 14. Cajati – compactador de metais.....	34
Figura 15. Cajati – compactador de papel.....	34
Figura 16. Cananéia – lixo descoberto.....	34
Figura 17. Cananéia – lixo descoberto.....	34
Figura 18. Eldorado – lixo descoberto.....	35
Figura 19. Iguape – lixo descoberto.....	35

Figura 20. Iguape - aterro próximo a moradias.....	35
Figura 21. Iguape – rachaduras na cobertura das valas.....	36
Figura 22. Iguape – lixo exposto.....	36
Figura 23. Ilha Comprida – lixo descoberto.....	36
Figura 24. Ilha Comprida – lixo descoberto.....	36
Figura 25. Ilha Comprida - lixo descoberto.....	37
Figura 26. Iporanga – área cercada e com guarita, porém sem vigia.....	37
Figura 27. Iporanga – lixo coberto.....	37
Figura 28. Itaóca – lixo coberto.....	38
Figura 29. Itaóca – lixo coberto.....	38
Figura 30. Itapirapuã Paulista – vala aberta com grande quantidade de lixo.....	38
Figura 31. Itariri – lixo descoberto.....	39
Figura 32. Itariri – ausência de sistema de drenagem de águas pluviais.....	39
Figura 33. Jacupiranga – máquina retro-escavadeira, permanente no aterro.....	39
Figura 34. Jacupiranga – sistema de drenagem de águas pluviais.....	39
Figura 35. Juquiá – lixo descoberto.....	40
Figura 36. Juquitiba – lixo descoberto.....	40
Figura 37. Miracatu – lixo descoberto.....	41
Figura 38. Miracatu – lixo descoberto.....	41
Figura 39. Pariquera-Açu – lixo descoberto.....	41

Figura 40. Pariqüera-Açu – ausência de sistema de drenagem de águas pluviais.....	41
Figura 41. Pedro de Toledo – lixo descoberto.....	42
Figura 42. Pedro de Toledo – lixo descoberto.....	42
Figura 43. Registro – ausência de sistema de drenagem de águas pluviais.....	42
Figura 44. Registro – pequena quantidade de lixo descoberta.....	42
Figura 45. Ribeira – lixo descoberto.....	43
Figura 46. Ribeira – lixo descoberto.....	43
Figura 47. Itapecerica da Serra – lixo coberto.....	44
Figura 48. Itapecerica da Serra – lixo coberto.....	44
Figura 49. Itapecerica da Serra – galpão Cooperativa de Recicladores.....	44
Figura 50. Itapecerica da Serra – esteira para triagem do lixo.....	44
Figura 51. Itapecerica da Serra – compactador de papel.....	44
Figura 52. Itapecerica da Serra – containeres segregadores.....	44
Figura 53. Sete Barras – lixo descoberto.....	45
Figura 54. Sete Barras – lixo descoberto.....	45
Figura 55. Tapiraí – área cercada com guarita e vigia.....	45
Figura 56. Tapiraí – pequena quantidade de lixo descoberto.....	45
Figura 57 - Carta pedológica da UGRHI-11.....	52
Figura 58 – Mapa geológico.....	63
Figura 59. Tipos de sensores remotos.....	82

Figura 60 – Modelo Numérico de Terreno.....	92
Figura 61 – Mapa de Declividade.....	93
Figura 62 - Fator distância das áreas urbanas.....	96
Figura 63 - Fator distância das principais vias.....	97
Figura 64 - Fator distância dos diques.....	102
Figura 65 - Fator distância das Zonas de Cisalhamento.....	102
Figura 66. Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.....	104
Figura 67 - Fator Declividade.....	105
Figura 68 - Fator distância da hidrografia.....	106
Figura 69 – Mapa resultante da Combinação Linear Ponderada.....	110
Figura 70 - Mapa resultante da Média Ponderada Ordenada.....	113
Figura 71. Pariquera-Açu – vegetação de pequeno porte.....	114
Figura 72. Pariquera-Açu - Declividade favorável.....	114
Figura 73 – Dimensões da célula diária de lixo.....	115
Figura 74 – Análise de rede - mapa com áreas de aterros para até 10.000 pessoas.....	119
Figura 75 - Análise de rede - áreas de aterros para até 10.000 pessoas - municípios de Apiai e Itaóca.....	120
Figura 76 - Análise de rede - áreas de aterros para até 10.000 pessoas - municípios de Barra do Chapéu e Itapirapuã Paulista.....	121

Figura 77 - Análise de rede - áreas de aterros para até 10.000 pessoas - municípios de Barra do Turvo e Iporanga.....	122
Figura 78 - Análise de rede - mapa com áreas de aterros para até 30.000 pessoas.....	124
Figura 79 - Análise de rede - áreas de aterros para até 30.000 pessoas - municípios de Barra do Chapéu e Apiaí.....	125
Figura 80 - Análise de rede - áreas de aterros para até 30.000 pessoas - municípios de Juquiá e Miracatu.....	126
Figura 81 - Análise de rede - áreas de aterros para até 30.000 pessoas - municípios de Miracatu e Pedro de Toledo, e Pedro de Toledo e Itariri.....	127
Figura 82 - Análise de rede - áreas de aterros para até 30.000 pessoas - municípios de Registro e Sete Barras.....	128
Figura 83 - Análise de rede - áreas de aterros para até 30.000 pessoas - municípios de Registro e Pariquera-Açu; Pariquera-Açu e Jacupiranga; e Jacupiranga e Cajati.....	129
Figura 84 – Análise de rede - mapa com áreas de aterros para até 50.000 pessoas.....	131
Figura 85 - Análise de rede - áreas de aterros para até 50.000 pessoas – municípios de Itapirapuã Paulista e Barra do Chapéu.....	132
Figura 86 - Análise de rede - áreas de aterros para até 50.000 pessoas – municípios de Miracatu, Pedro de Toledo e Itariri.....	133
Figura 87 - Análise de rede - áreas de aterros para até 50.000 pessoas – municípios de Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati; e Jacupiranga, Cajati e Eldorado.....	134
Figura 88 – Análise de rede - mapa com áreas de aterros para mais de 50.000 pessoas.....	136

Figura 89 - Análise de rede - áreas de aterros para mais de 50.000 pessoas – municípios de Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati.....	137
---	-----

Figura 90 - Análise de rede - áreas de aterros para mais de 50.000 pessoas – municípios de Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati; e Sete Barras, Registro, Pariquera-Açu e Jacupiranga.....	138
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.3.1 - Municípios com território e sede na UGRHI-11 e participantes do CBH-RB.....	7
Tabela 1.3.2 - Municípios com território na UGRHI 11 e sede em outra UGRHI.....	7
Tabela 1.4.1 - Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR dos municípios da UGRHI-11.....	9
Tabela 2.1 - IQR para a UGRHI-11 no período 1997-2006.....	26
Tabela 3.3.1 - Principais mapeamentos da vegetação.....	71
Tabela 3.3.2 – Variação da cobertura vegetal natural de 1988 a 1994.....	72
Tabela 3.3.3 – Variação da cobertura vegetal natural.....	73
Tabela 3.3.4 – Variação nos tipos de cobertura vegetal no Vale do Ribeira.....	74
Tabela 3.3.5 - Unidades de Proteção Integral no Vale do Ribeira e Litoral Sul.....	77
Tabela 3.3.6 - Unidades de Uso Sustentável no Vale do Ribeira e Litoral Sul.....	78
Tabela 3.3.7 - Espaços Territoriais Especialmente Protegidos no Vale do Ribeira e Litoral Sul.....	79
Tabela 5.1 – Grade Regular Retangular X Grade Irregular Triangular.....	90
Tabela 5.2 – Granulometria das classes de solos.....	99
Tabela 5.3 – Profundidade da zona não-saturada.....	99
Tabela 5.4 – Ponderação do pH.....	100
Tabela 5.5 – Ponderação da CTC.....	101
Tabela 5.6 - Processo de ponderação dos fatores no módulo WEIGHT do Programa Irisi 15.0.....	108
Tabela 5.7 – Cálculo de área mínima para aterro sanitário.....	116

Tabela 5.8 – Raios de busca para as áreas de serviço.....118

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais

A destinação final dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas e industriais vem demandando cada vez mais o envolvimento de diferentes setores da sociedade para o estabelecimento de um adequado ciclo produção-disposição final. Evidentemente, as soluções políticas só podem se consolidar através do correto embasamento técnico e científico.

Os métodos de redução (coleta seletiva, reciclagem, compostagem e incineração) e de disposição dos resíduos demandam estudos e ações voltados à correta disposição final, em aterros sanitários.

Os lixões apresentam grave problema decorrente da decomposição de substâncias orgânicas por microorganismos, com produção de uma mistura líquida complexa e de composição química bastante variável, denominada usualmente chorume ou percolato, líquido escuro, turvo e mal cheiroso, responsável por problemas sanitários e ambientais, como a poluição de águas subterrâneas e de superfície, além do solo e ar. (IPT, 2000). Outro grande problema é relacionado à população vizinha, que fica vulnerável a moléstias, infestação de insetos e roedores. Sob o aspecto social, há a problemática dos catadores de resíduos recicláveis que atuam, muitas vezes, no lixão, podendo haver também crianças no local, acompanhando os pais ou, mais freqüentemente, envolvidas diretamente na atividade e expostas a acidentes e contaminações.

Os métodos de acondicionamento e coleta resultam na mistura de materiais que dificilmente são separados pelos processos de triagem atualmente utilizados. Como consequência, tanto as usinas de compostagem quanto as técnicas de coleta seletiva geram rejeitos que obrigatoriamente devem ser descartados. Processo semelhante ocorre com os

incineradores, que em tese reduzem o volume do lixo de 5 a 15% do volume original, gerando escórias e cinzas que precisam ser descartadas (CETESB, 1997).

Os aterros sanitários não têm como objetivo o tratamento ou a reciclagem dos materiais presentes no lixo urbano, mas o armazenamento de lixo no solo, o que requer estudo para seleção de áreas, uma vez que os espaços úteis a essa técnica tornam-se cada vez mais escassos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997) define aterro sanitário como: Forma de disposição final de resíduos urbanos no solo através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (CETESB, 1997).

A execução de um projeto de aterro sanitário deve ser precedida de uma série de estudos técnicos que vão desde levantamentos de viabilidade técnica e econômica até a elaboração do projeto (LIMA, 1995).

De acordo com a CETESB (1997), citam-se como pré-requisitos para a escolha de uma área para implantação de um aterro sanitário os estudos de: topografia; dimensões; tipo de solo; áreas vulneráveis a enchentes; distância de corpos de água; profundidade do aquífero; distância de residências além de outras disposições da legislação ambiental e de uso do solo.

O presente estudo contemplou uma das fases da gestão integrada de resíduos sólidos, a destinação final, ou seja, a seleção de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários nos municípios situados na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 11 (UGRHI-11), que correspondente à Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul, contando com apoio da FAPESP (processo 2006/57073-6), CAPES (bolsa de mestrado) e do Sistema de Informações

Geográficas da Bacia do Ribeira e Litoral Sul - SIG-RB (fornecimento de mapas e colaboração da equipe no geoprocessamento).

A grande maioria dos municípios estudados tem pequena população e renda, e alguns, como Ilha Comprida, não dispõem de áreas minimamente adequadas à construção de aterros. Assim sendo, esta pesquisa teve como objetivo principal a seleção de áreas aptas à implantação de aterros sanitários para atender de forma coletiva a municípios próximos.

Foi desenvolvida uma complementação do Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (SIG-RB), através de levantamento de dados primários e secundários, da CETESB e das prefeituras, para análise do atual gerenciamento dos resíduos sólidos, e uma análise por geoprocessamento de todo o Sistema, com intuito de identificar e priorizar áreas propícias à implantação de aterros sanitários.

1.2 - Objetivos

- Estudo da atual situação do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da *Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº11* – Vale do Ribeira de Iguape e Litoral Sul.
- Indicação de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários na UGRHI-11, preferencialmente atendendo a mais de um município.
- Complementação e atualização do SIG-RB.

1.2.1 - Objetivos Específicos

- a) Avaliação das atuais áreas para disposição de resíduos sólidos urbanos dos municípios situados na UGRHI-11.
 - i. - Atividades: Visita aos municípios para avaliação e registro, através da utilização de aparelho de *Global Positioning System* (GPS) e máquina fotográfica digital, da posição e situação dos locais de destino final dos resíduos sólidos.
 - ii. Produto: Relatório.

- b) Avaliação da produção de resíduos sólidos nos municípios na UGRHI-11.
 - i. Atividades: Coleta de dados quantitativos referentes à produção de resíduos sólidos urbanos da região de estudo e dos planos municipais para seu gerenciamento.
 - ii. Produto: Relatório.

- c) Integração de dados ambientais, econômicos e sociais para indicação de locais aptos à implantação de aterro sanitário nos municípios abrangidos pelo estudo.
 - i. Atividades: Atualização do SIG-RB, visando à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos, utilizando dados da CETESB, das administrações municipais e do Comitê da Bacia-RB;

Análise do SIG, de acordo com dados dos meios físico, biológico e socioeconômico, para a indicação preliminar de locais aptos; e análise das condições de transporte, visando à minimização do número de aterros, mantendo o mais baixo possível o custo de transporte para os municípios.

- ii. Produtos: Locais preferenciais para localização de aterros, selecionados por critérios ambientais e logísticos, apresentados em mapas e relatório.

1.3 - Localização

A UGRHI 11 localiza-se ao sul do Estado de São Paulo, numa extensão aproximada de 260km, com uma testada de 140km para o Oceano Atlântico. Sua área é de 17.067,92km², (CBH-RB, 2008), compreendendo a Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e de outras bacias que deságuam no Oceano Atlântico e canais estuarinos. A área total da Bacia do rio Ribeira de Iguape, incluindo a porção paranaense, é de 25.681km² (Figura 1).

Os principais rios da Bacia são o Ribeira, na sua parte inferior denominado Ribeira de Iguape e seus afluentes Açungui, Capivari, Pardo, Turvo, Juquiá, São Lourenço, Jacupiranga, Una da Aldeia e Itariri, Figura 1.3.1. A UGRHI 11 limita-se a sudoeste com o Estado do Paraná, ao norte com a UGRHI 14 (Alto Paranapanema) e UGRHI 10 (Sorocaba e Médio Tietê), a nordeste com as UGRHI 6 (Alto Tietê) e UGRHI 7 (Baixada Santista), e a leste com o Oceano Atlântico.

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul

Os Municípios com território e sede na UGRHI-11 e participantes do Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (CBH-RB) estão listados na Tabela 1.3.1. Já os Municípios com território na UGRHI 11 e sede em outra UGRHI, não participantes do CBH-RB, estão na Tabela 1.3.2.

Tabela 1.3.1 - Municípios com território e sede na UGRHI-11 e participantes do CBH-RB.

Município	Área (Km2)	Área na UGRHI-11 (%)	UGRHI com localização parcial do território	Área na UGRHI ocupada pela sede (%)
Apiaí	960,11	55,20	UGRHI 14	47,80
Barra do Chapéu	412,40	100		
Barra do Turvo	997,40	100		
Cajati	455,20	100		
Cananéia	1.113,30	100		
Eldorado	1.667,00	100		
Iguape	1.934,00	100		
Ilha Comprida	295,10	100		
Iporanga	1.125,00	100		
Itaóca	196,20	100		
Itapirapuã Paulista	426,30	100		
Itariri	274,34	81,03	UGRHI 7	18,97
Jacupiranga	697,50	100		
Juquiá	818,80	100		
Juquitiba	513,60	100		
Miracatu	1.002,00	100		
Pariquera-Açu	361,30	100		
Pedro de Toledo	682,30	100		
Registro	721,20	100		
Ribeira	334,30	100		
São Lourenço da Serra	192	77,55	UGRHI 6	22,45
Sete Barras	1.069,00	100		
Tapiraí	768,84	88,39	UGRHI 14	11,61

Fonte: CBH-RB (2008).

Tabela 1.3.2 - Municípios com território na UGRHI 11 e sede em outra UGRHI.

Município	Área (Km2)	Área na UGRHI-11 (%)	Localização da sede	Área na UGRHI ocupada pela sede (%)
Ibiúna	1065,00	47,49	UGRHI 10	52,51
Itapeccerica da Serra	151.46	2.54	UGRHI 10	97.46
Peruíbe	326.21	15.33	UGRHI 6	84.67
Piedade	733,90	16,38	UGRHI 10	83,62
São Miguel Arcanjo	930.02	1.82	UGRHI 14	98.18

Fonte: CBH-RB (2008).

1.4 - Justificativa

A agenda 21, importante documento produzido na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida em 1992 no Rio de Janeiro, propõe que “*a sociedade precisa desenvolver formas eficazes de lidar com o problema da eliminação cada vez maior de resíduos. Os governos, juntamente com as indústrias, as famílias e o público em geral, devem envidar um esforço conjunto para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados*” (UNCED-RIO92).

Entretanto, no Brasil, a situação dos resíduos sólidos é preocupante, pelo contínuo crescimento da geração dos mesmos, sobretudo no ambiente urbano, agravada pela descontinuidade de programas políticos e administrativos.

O Inventário Estadual de Resíduos Sólidos de 2006, produzido pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), reflete as condições em que se encontram os sistemas de disposição e tratamento de resíduos sólidos domiciliares a partir de dados e informações coletados em todos 645 municípios do Estado de São Paulo. As informações foram obtidas através de aplicação de questionário padronizado, que abordou características locacionais, estruturais e operacionais.

De acordo com os dados desse Inventário, dezesseis dos vinte e três municípios da UGRHI-11, ou seja, 70% do total, dispõem seus resíduos de forma inadequada (Tabela 1.4.1). Porém, nas viagens de campo realizadas neste trabalho, observou-se que os municípios de Itapirapuã Paulista e Cajati (em situações controlada e adequada, respectivamente, segundo IQR – 2006 CETESB) estavam com condições inadequadas, totalizando 78% dos municípios em situação inadequada. As situações destes dois municípios será melhor abordada no capítulo

2.6.2.1 (Levantamento de campo das condições de disposição de resíduos urbanos da UGRHI-11).

Tabela 1.4.1 - Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR dos municípios da UGRHI-11.

MUNICÍPIO	IQR	CONDIÇÃO	MUNICÍPIO	IQR	CONDIÇÃO
Apiaí	5,0	Inadequada	Jacupiranga	9,4	Adequada
Barra do Chápeu	4,2	Inadequada	Juquiá	4,2	Inadequada
Barra do Turvo	5,8	Inadequada	Juquitiba	2,7	Inadequada
Cajati	9,4	Adequada	Miracatu	1,5	Inadequada
Cananéia	3,1	Inadequada	Pariquera-Açu	3,6	Inadequada
Eldorado	4,5	Inadequada	Pedro de Toledo	4,3	Inadequada
Iguape	3,7	Inadequada	Registro	6,3	Controlado
Ilha Comprida	2,3	Inadequada	Ribeira	5,6	Inadequada
Iporanga	9,1	Adequada	São Lourenço da Serra	2,8	Inadequada
Itaóca	7,9	Controlada	Sete Barras	5,5	Inadequada
Itariri	4,4	Inadequada	Tapiraí	8,5	Adequada
Itapirapuã Paulista	7,5	Controlada			

Fonte: CETESB (2006).

Na região do Baixo Vale do Ribeira, em geral, os *lixões* estão situados em locais totalmente inadequados, tais como margens de rios, interior de boçorocas e áreas de proteção de mananciais; fatos que, aliados à presença de catadores e animais domésticos, implicam num enorme potencial de degradação e contaminação ambiental.

Tais fatos evidenciam a importância de estudos e ações voltadas à correta disposição de resíduos, o que inclui a seleção de áreas adequadas para esta finalidade, sendo consideradas as fragilidades do meio físico e biológico, as características econômicas e sociais de cada município e respeitados os critérios ambientais.

Considerando o custo financeiro e a exigência de trabalhos complexos para a seleção, licenciamento, construção e operação de aterros tecnicamente adequados, considera-se necessário

propor a escolha de um pequeno número de áreas com boas condições, a serem operadas conjuntamente pelos municípios próximos, mantendo no mínimo possível os custos de transporte.

2 – RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 - Definição

Segundo a Norma ABNT-NBR 10.004 (2004) (Resíduos Sólidos – Classificação), são citados como resíduos sólidos: “resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Historicamente a disposição de resíduos no solo foi vista como um sistema de tratamento, devido a sua degradação (Hamer, 2003). Segundo Sisinnio e Oliveira (2000), acreditava-se que o solo era um meio filtrante que tratava os resíduos sólidos e efluentes líquidos.

A partir do momento em que o homem começa a constituir vilas e comunidades, os problemas surgem e a acumulação de resíduos torna-se uma consequência. A disposição de resíduos sólidos de maneira inadequada levou, na Idade Média, no aparecimento de ratos e insetos, ocasionando uma série de epidemias, como a peste bubônica. Com o advento da revolução Industrial, na Europa, ocorreu uma ampliação dos problemas relacionados com a disposição de resíduos sólidos e, na Inglaterra, em 1888, as condições eram tão ruins que foi decretada a proibição de depósito de resíduos sólidos em valas, nos rios e em águas em geral. Atitude semelhante foi tomada pelos Estados Unidos da América em 1899 (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

No Brasil, desde 1950, a população se concentra nas áreas urbanas, devido aos mais variados fatores, tais como migração interna, mecanização da agricultura, processo de industrialização e busca de melhores oportunidades de empregos. Em 1996, a população urbana do País ultrapassou 67% da população total. O número de suas regiões metropolitanas aumentou de nove, em 1995, para 17 em 2000. O acelerado processo de urbanização, aliado ao consumo crescente de produtos menos duráveis, e/ou descartáveis, provocou sensível aumento no volume e diversificação do lixo gerado e sua concentração espacial. Em 1997, a coleta de lixo no Brasil, considerando-se apenas os domicílios urbanos, era de, aproximadamente, 70%. Este percentual, embora ainda não-adequado, representa um avanço em relação aos valores de 1990 (64%) e de 1981 (49%). Desse modo, o encargo de gerenciar o lixo tornou-se uma tarefa que demanda ações diferenciadas e articuladas, as quais devem ser incluídas entre as prioridades de todas as municipalidades (IPT/CEMPRE, 2000).

Em relação à poluição ambiental causada pelos resíduos sólidos urbanos, isso se deve à decomposição da matéria orgânica presente no lixo, que gera biogás e o percolato, que é um líquido escuro, ácido e de alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), podendo esta atingir mais de 60.000 mg/litro, que em comparação ao esgoto doméstico (200 mg/litro), é um valor muito elevado. Devido a sua alta acidez, o percolato também é responsável pelo carreamento de metais presentes na massa de lixo, aumentando o seu potencial poluidor (TRESSOLDI e CONSONI, 1998).

Quando mal dispostos, os resíduos sólidos urbanos acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas subterrânea e superficial, pela infiltração do percolato. Acrescenta-se a esta situação o total descontrole dos tipos de resíduos

recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados de serviços de saúde e de indústrias (IPT/CEMPRE, 2000).

2.2 - Classificação dos resíduos sólidos

De acordo com a norma ABNT-NBR 10.004 (2004), a classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem.

Para efeitos desta norma, os resíduos são classificados em:

a) Resíduos classe I – Perigosos.

São enquadrados nesta classe todos os resíduos que em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

b) Resíduos classe II – Não perigosos;

- i. Resíduos classe II A – Não inertes: Podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- ii. Resíduos classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, conforme a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforma ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.3 - Tipos de disposição final de resíduos sólidos.

De acordo com IPT/CEMPRE (2000), existem três maneiras para a disposição final do lixo municipal no solo:

- I. **Lixão:** Caracteriza-se pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto ou vazadouro.
- II. **Aterro Controlado:** É uma técnica de disposição de resíduos sólidos municipais no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada, pois, similarmente ao aterro sanitário, a área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem de sistemas de tratamento de percolato (termo empregado para caracterizar a mistura entre o chorume, produzido pela decomposição do lixo, e a água de chuva que percola o aterro) ou do biogás gerado. Esse método é preferível ao lixão, mas devido aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, é de qualidade bastante inferior ao aterro sanitário.

Entre as definições da Lei nº12.300 de 2006 (Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo), disposição inadequada de resíduos são todas as formas de depositar, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular resíduos sólidos sem medidas que assegurem a efetiva proteção ao meio ambiente e à saúde pública (Art. 5º, Inciso XVIII). Um dos objetivos desta Lei

(Art. 3º, Inciso III) é a erradicação de lixões e aterros controlados, por serem classificados como destinações inadequadas.

A Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (Lei nº12.300/2006) estabelece como um dos seus objetivos (Art. 3º, Inciso III) a erradicação dos “lixões”, “aterros controlados”, “bota-foras” e demais destinações inadequadas.

- III. Aterro Sanitário: De acordo com a lei A Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (Lei nº12.300/2006), é um local utilizado para disposição final de resíduos urbanos, onde são aplicados critérios de engenharia e normas operacionais especiais para confinar esses resíduos com segurança, do ponto de vista de controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública. Outra definição considera-o como forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

2.3.1 - Sistema de operação de aterro sanitário

O processo de aterramento do lixo é executado sob uma das três formas tradicionalmente empregada: método da trincheira ou vala, método da rampa e método da área (IPT/CEMPRE, 2000).

- a) *Método da trincheira ou vala*: consiste na abertura de valas, onde o lixo é disposto, compactado e posteriormente coberto com solo. As valas podem ser de pequenas, operação manual, ou de grandes dimensões, permitindo a entrada de equipamentos

maiores em seu interior. No caso de municípios que gerem até 10 ton/dia de lixo, o sistema de operação normalmente indicado é o de aterro sanitário em valas, quer requer menos recursos financeiros para a sua construção e dispensa a presença intensiva de equipamentos para a sua operação (Figura 2);

Figura 2 – Método de aterramento em vala (IPT/CEMPRE, 2000).

- b) *Método da rampa*: conhecido também como método da escavação progressiva. Fundamentado na escavação da rampa, onde o lixo é disposto e compactado pelo trator e posteriormente coberto com solo. É empregado em áreas de meia encosta, onde o solo natural ofereça boas condições para ser escavado e, de preferência, possa ser utilizado como material de cobertura (Figura 3);

Figura 3. Método de aterramento em rampa (IPT/CEMPRE, 2000).

- c) *Método da área*: é empregado geralmente em locais de topografia plana e lençol freático raso (Figura 4).

Figura 4. Método de aterramento em área (IPT/CEMPRE, 2000).

A opção por um método depende das características físicas e geográficas da área e da quantidade de lixo a dispor.

2.4 - Gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos

Pelas vantagens apresentadas, e devido à proteção que proporciona ao ambiente e à saúde pública, o aterro sanitário é a forma correta de disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Porém, antes da disposição final, é recomendada a utilização de métodos que minimizem as quantidades de resíduos enviadas aos aterros e, conseqüentemente, aumentem a sua vida útil. IPT/CEMPRE (2000) classifica esses métodos em: reutilização, reciclagem, compostagem e incineração.

- **Reutilização**: prática na qual os resíduos podem ser usados na forma em que se encontram sem necessidade de tratamento para alterar as suas características físico-químicas (Lei nº12.300, Art. 5º, Inciso XVII).

- **Reciclagem:** técnica na qual os resíduos podem ser usados com a necessidade de tratamento pra alterar as suas características físico-químicas (Lei nº12.300, Art. 5º, Inciso XIII). Resultado de uma série de atividades, onde materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. Não se devem segregar materiais para reciclagem caso não exista demanda significativa dos mesmos. A separação de materiais do lixo aumenta a oferta de materiais recicláveis. Entretanto, se não houver demanda por parte da sociedade, de produtos reciclados, o processo é interrompido, os materiais abarrotam os depósitos, e por fim, são aterrados ou incinerados como rejeitos (IPT/CEMPRE, 1995).

A reciclagem pode trazer vários benefícios, entre eles:

- ✓ diminuição da quantidade de lixo a ser aterrada;
- ✓ preservação de recursos naturais;
- ✓ economia de energia;
- ✓ diminuição de impactos ambientais;
- ✓ novos negócios;
- ✓ geração de empregos diretos e indiretos.

Há dois caminhos a seguir num programa de reciclagem:

- I. Coleta seletiva: sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e “orgânicos”, previamente separados na fonte geradora. Estes materiais são vendidos às indústrias recicladoras.
- II. Usinas de triagem: separação dos materiais após a coleta normal e transporte de lixo. Oferecem uma maneira de reduzir sensivelmente a quantidade de resíduos enviados ao

aterro, atingindo taxas de 50%, quando bem gerenciadas. Assim como na coleta seletiva, deve haver um mercado para os materiais separados, tanto orgânicos quanto inorgânicos.

- **Compostagem:** Processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto – o composto orgânico – que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

Vantagens da compostagem:

- ✓ redução de cerca de 50% do lixo destinado ao aterro;
 - ✓ aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
 - ✓ reciclagem de nutrientes para o solo;
 - ✓ processo ambientalmente seguro;
 - ✓ eliminação de patógenos;
 - ✓ economia de tratamento de efluentes.
-
- **Incineração:** Os resíduos sólidos municipais e de serviços de saúde podem ser tratados termicamente antes de sua disposição final em aterros. O tratamento térmico de resíduos, do ponto de vista de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos, deve estar associado à implantação prévia de políticas de redução de geração e reciclagem de resíduos. Nos tratamentos a alta temperatura (acima de 500°C), há redução de até 70% da massa e 90% do volume da fração orgânica dos resíduos, bem como sua assepsia. Já os tratamentos a baixa temperatura (100°C), visam, principalmente, à assepsia do resíduo sólido, razão pela qual são empregados somente para o tratamento de resíduos de saúde.

2.5 - Seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos

A avaliação do local de disposição de lixo do município visa conhecer as condições favoráveis e desfavoráveis existentes e priorizar as medidas eventualmente necessárias. Essas deficiências nos aterros de resíduos podem ser de ordem sanitária, ambiental e/ou operacional. As deficiências de ordem sanitária, freqüentemente encontradas, são: fogo, fumaça, odor e vetores de doenças. Quanto às de ordem ambiental, os aspectos geralmente presentes são: poluição do ar, poluição das águas superficiais e subterrâneas, poluição do solo e prejuízo à estética e paisagem local. Da mesma forma, quanto às deficiências operacionais, podem ocorrer: vias de acesso intransitáveis durante as épocas de chuvas, falta de controle da área (ausência de cercas e de vigilância, presença de catadores), descontrole dos resíduos recebidos (não-adoção de procedimentos para inspeção, pesagem, etc.), ausência de critérios para disposição do lixo no solo (frente ao trabalho maior que o recomendável, manejo impróprio do lixo) (IPT/CEMPRE, 2000).

2.6 - Cooperação intermunicipal na gestão de resíduos sólidos urbanos

De acordo com o IQR/CETESB, dos vinte e três municípios da UGRHI-11, dezesseis têm suas áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em situação inadequada. Provavelmente, esta situação seja, em grande parte, consequência dos altos custos necessários à implantação de aterros sanitários. Alonso (1992) acredita que, por realização de consórcios, um conjunto de municípios pode reduzir os custos de uma determinada solução tecnológica (aterro sanitário, usina de compostagem e/ou incinerador).

A Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (Lei nº12.300/2006) estabelece entre seus objetivos (Art. 3º, Inciso VI), o incentivo à cooperação intermunicipal, estimulando a busca de soluções consorciadas e a solução conjunta dos problemas de gestão de

resíduos de todas as origens. Entre os deveres do Estado, está o de incentivar a formação de consórcios entre Municípios com vistas ao tratamento, processamento de resíduos e comercialização de materiais recicláveis (Artigo 29, Inciso VI).

Outros objetivos desta lei, relacionados à gestão regionalizada são:

- i. Criar incentivos aos Municípios que se dispuserem a implantar, ou a permitir a implantação, em seus territórios, de instalações licenciadas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos, oriundos de quaisquer outros Municípios (Art. 3º, Parágrafo único, alínea 12);
- ii. A gestão dos resíduos sólidos urbanos será feita pelos Municípios, de forma, preferencialmente, integrada e regionalizada, com a cooperação do Estado e participação dos organismos da sociedade civil, tendo em vista a máxima eficiência e a adequada proteção à saúde pública (Artigo 13).

A gestão integrada e regionalizada através da criação de consórcios intermunicipais depende de determinados fatores. Segundo Cruz (2001, apud SILVEIRA e PHILIPPI, 2005), esses fatores são:

- ✓ existência de interesses comuns entre os municípios;
- ✓ disposição de cooperação por parte dos prefeitos;
- ✓ busca da superação de conflitos político-partidários;
- ✓ proximidade física das sedes municipais;
- ✓ tomada de decisões políticas em se consorciar e;
- ✓ existência de uma identidade intermunicipal.

As bacias hidrográficas, enquanto unidades físico-territoriais de planejamento, podem se constituir em opção para o estabelecimento de consórcios intermunicipais visando o tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos (Lino, 2007).

2.7 - Situação dos resíduos sólidos urbanos da UGRHI-11

2.7.1 - Levantamentos da CETESB

Desde 1997, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sistematiza e organiza informações relacionadas a levantamentos e avaliações sobre as condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final de resíduos sólidos domiciliares dos municípios paulistas, compondo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Estas informações são obtidas nas inspeções realizadas por técnicos da CETESB, processadas a partir da aplicação de um questionário padronizado, relativo às características locais, estruturais e operacionais. Assim, é possível expressar as condições ambientais dos locais de disposição de resíduos por meio dos Índices de Qualidade de Aterro de Resíduos – IQR, de Qualidade de Aterros em Valas – IQV e de Qualidade de Usinas de Compostagem – IQC, com variação de 0 a 10, e classificá-los em três faixas de enquadramento: inadequada, controlada e adequada.

IQR/IQR-Valas/IQC	ENQUADRAMENTO
0,0 a 6,0	Condições Inadequadas (I)
6,1 a 8,0	Condições Controladas (C)
8,1 a 10,0	Condições Adequadas (A)

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares do ano de 2006 (CETESB, 2006), em 2006, o número de municípios do Estado de São Paulo, cujas instalações de disposição e tratamento de resíduos domiciliares foram enquadradas na condição adequada é, aproximadamente, 12 vezes maior do que o observado em 1997; o IQR médio dos sistemas de disposição final de resíduos sólidos domiciliares em operação nos municípios paulistas passou de 4,04 em 1997 para 7,4 em 2006; a quantidade de resíduos dispostos adequadamente passou de 10,9% do total gerado em 1997, para 80,7% em 2006. Considerando que em 1997 o total de resíduos gerado foi de 18.232 ton/dia e em 2006 foi de 28.397 ton/dia, verifica-se que a quantidade de resíduo disposta adequadamente passou de 1.987 ton/dia, em 1997, para 22.909 ton/dia, em 2006; em 1997, o número de municípios cuja disposição se enquadrava como inadequada, correspondia a 77,8% dos municípios do Estado e, em 2006, corresponde a 22,2% dos municípios.

A análise do IQR médio em função da população revela que, nos municípios com maior população, o IQR médio apresenta uma tendência de crescimento, a saber:

- Nos 573 municípios com até 100.000 habitantes, responsáveis pela geração de 13% da quantidade diária de resíduos do Estado, o IQR médio de 2006 é igual a 7,3 – condições controladas;
- Nos 35 municípios com população entre 100.001 e 200.000 habitantes, responsáveis pela geração de 8,3% da quantidade diária de resíduos do Estado, o IQR médio de 2006 é igual a 7,6 – condições controladas;
- Nos 28 municípios com população entre 200.001 e 500.000 habitantes, responsáveis pela geração de 17,5% da quantidade diária de resíduos do Estado, o IQR médio de 2006 é igual a 8,3 – condições adequadas;
- Nos 9 municípios com mais de 500.000 habitantes, responsáveis pela geração de 61,2% da quantidade diária de resíduos do Estado, o IQR médio de 2006 é igual a 8,7 – condições adequadas.

Os vinte e três municípios pertencentes à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº11 (Ribeira do Iguaçu e Litoral Sul – UGRHI-11) coletam 107 toneladas de resíduos sólidos urbanos, diariamente. Considerando que, em 2006, a UGRHI-11 tinha 272.771 habitantes em área urbana (SEADE), chega-se a uma média de produção diária de 392,27g/habitante (duzentos e setenta gramas de resíduo produzido por habitante) (CETESB, 2006).

De acordo com o Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR – utilizado pela CETESB para classificar áreas de disposição final de resíduos sólidos), em 2003, dezessete municípios da UGRHI-11 depositavam resíduos em instalações inadequadas (75,12% dos

resíduos coletados), três em condições controladas (12,64% dos resíduos coletados) e três em condições adequadas (12,24% dos resíduos coletados).

Em 2004 observa-se uma redução no número de instalações inadequadas, dezesseis municípios (com 57,34% dos resíduos coletados) e aumento nas condições controladas, seis municípios (40,11% dos resíduos coletados). Porém em virtude de Iguape e Itapirapuã Paulista apresentarem redução no IQR, em relação ao ano anterior, houve uma redução no número de instalações adequadas, ficando apenas um município, Tapiraí (2,55% dos resíduos coletados).

Em 2005, Cajati, Iguape, Iporanga e Jacupiranga tiveram melhoras no IQR, dessa forma suas instalações foram classificadas como adequadas, totalizando, junto com Tapiraí, 25,45% dos resíduos coletados. Três municípios foram classificados em condições controladas (23,44% dos resíduos coletados) e quinze em condições inadequadas (51,11% dos resíduos coletados).

Em 2006, o município de Iguape teve uma grande queda no seu IQR, passando de 8,2 para 3,7. Dessa forma, houve um aumento no número das instalações inadequadas, para 16 (64,67% dos resíduos coletados). Manteve-se o número de três municípios em situação controlada (18,50% dos resíduos coletados), porém com mudanças. Itaóca, que fora considerado em situação inadequada no ano de 2005 passa a situação controlada, já São Lourenço da Serra que tinha sua situação controlada em 2005 passa a situação inadequada em 2006. Com o rebaixamento de Iguape, o número de aterros em situação adequada passa para quatro (16,82% dos resíduos coletados).

Os valores do IQR para a UGRHI-11 no período de 1997 a 2006 (CETESB, 2006), podem ser observados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - IQR para a UGRHI-11 no período 1997-2006.

Município	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos										Condição (2006)
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Apiaí	3.5	1.9	1.2	1.4	0.9	0.9	6.2	7	5.2	5	Inadequado
Barra do Chapéu	7.3	4.2	4.9	2.5	2.1	3.2	2.5	1.5	1.8	4.2	Inadequado
Barra do Turvo	1.8	5.2	5.2	4.8	4.7	5	5.7	7	4.4	5.8	Inadequado
Cajati	1.6	2.2	2.8	2.3	3.4	3.8	3.6	3.2	9.1	9.4	Adequado
Cananéia	3	6	4.9	4.1	3.4	3.9	3.5	4.1	4.4	3.1	Inadequado
Eldorado	2.4	3.3	3.3	3.2	2.6	3	4.1	3.6	3.8	4.5	Inadequado
Iguape	2.5	2.6	2.6	3	3.5	4.5	8.8	7.9	8.2	3.7	Inadequado
Ilha Comprida	4.5	0.9	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	2.1	2.3	Inadequado
Iporanga	3.5	3.4	3.9	1.5	1.6	7.8	7.1	7	9	9.1	Adequado
Itaóca	3	4.7	2.9	2.7	1	3	2.7	1.8	5.2	7.9	Controlado
Itapirapuã Paulista	2.9	2.8	8	7.2	7.8	8.3	9.4	4.3	7.3	7.5	Controlado
Itariri	3.2	3.3	3.6	3.3	3.7	3.9	3.2	2.4	4.5	4.4	Inadequado
Jacupiranga	1.6	2.2	2.8	2.3	3.4	3.8	3.6	3.2	9.1	9.4	Adequado
Juquiá	2	1.7	1.9	1.5	1.7	2.8	2.4	3.8	4	4.2	Inadequado
Juquitiba	1.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	3.1	2.7	Inadequado
Miracatu	1.2	2.1	2.1	1.9	2.4	2.8	2.8	2.7	3.4	1.5	Inadequado
Pariquera-Açu	2.7	2.2	2.9	2.7	4.5	3.6	4.2	4	3.9	3.6	Inadequado
Pedro de Toledo	1.5	2	2.6	2.5	2.5	2.6	2.6	1.5	4.5	4.3	Inadequado
Registro	2.8	3.2	3.4	4	3.6	4.4	5.5	6.5	6.4	6.3	Controlado
Ribeira	3	3.5	1.2	1.4	1.1	3.4	3.5	1.4	5.1	5.6	Inadequado
São Lourenço da Serra	1.9	6.3	6.2	6.2	6	6	6.8	6.3	7.1	2.8	Inadequado
Sete Barras	2.9	3	2.5	2.5	2.5	3.1	5.6	5.6	4.5	5.5	Inadequado
Tapiraí	6.9	6.8	5.8	8.7	7.9	8.3	8.7	9.1	9	8.5	Adequado

Fonte: CETESB (2006)

A relação entre quantidade de lixo coletado e IQR dos municípios da UGRHI-11, no período de 2003 a 2006 está na Figura 5.

Figura 5. Lixo coletado e IQR para a UGRHI-11 no período 2003-2006 (CETESB, 2006).

A Figura 6 apresenta a situação das áreas de disposição final de resíduos de origem domiciliar/comercial em relação ao IQR para a UGRHI-11, no período de 1997 a 2006. Pode-se observar que há uma tendência de aumento no número de municípios em situações controladas e adequadas e decréscimo de municípios em situação inadequada.

Figura 6. Situação das áreas de disposição final de resíduos na UGRHI-11, 1997-2006 (CETESB, 2006).

No período compreendido entre 1997 e 2006, os municípios da UGRHI-11 apresentaram uma média de IQR de 3,96, com o máximo de 5,40 em 2005 e mínimo de 2,90 em 1997. Nesse mesmo período, o Estado de São Paulo teve uma média de 6,33 com o máximo de 7,4 em 2006 e mínimo de 4,04 em 1997. De acordo com essas médias, poderíamos classificar os aterros de resíduos da UGRHI-11 em situação inadequada e os do Estado de São Paulo em situação controlada, o que demonstra a carência da região do Vale do Ribeira e Litoral Sul em estudos e medidas para o gerenciamento dos resíduos sólidos. As diferentes evoluções do IQR médio para o Estado de São Paulo e UGRHI-11, para o período citado, podem ser visualizadas na Figura 7.

Figura 7. Evolução do IQR médio para o Estado de São Paulo e UGRHI-11, 1997-2006 (CETESB, 2006).

2.7.2 – Levantamento de campo das condições de disposição de resíduos urbanos da UGRHI-11

Entre os dias 17 e 23 de janeiro de 2007, e em 9 de fevereiro de 2007, foram realizadas viagens para pesquisa de campo percorrendo todas as áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos dos vinte e três municípios da UGRHI-11, percorrendo-se um total de 2.145Km.

O intuito desta viagem foi registrar através de fotografia digital e anotações as condições dessas áreas, além das localizações através de *Global Positioning System* (GPS). Para as anotações, foi construída uma planilha com base na planilha utilizada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) para cálculo de IQR.

Baseando-se na Norma NBR-13896 (ABNT, 1997), um local para ser utilizado para instalação de aterro sanitário de resíduos não perigosos deve ser tal que o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado; a aceitação da instalação pela população seja maximizada; esteja de acordo com o zoneamento da região; possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando de um mínimo de obras para início da operação.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e CETESB, uma área apta à instalação de um aterro sanitário deve obedecer alguns critérios técnicos, tais como, profundidade de aquífero, distância de cursos de água e distância de áreas urbanas, entre outros.

Com os dados coletados em campo, observa-se que dez dos vinte e três municípios dispõem seus resíduos domiciliar/comercial em lixões; outros dez dispõem os resíduos em valas, sendo que destes, seis apresentam lixo descoberto; e apenas três municípios possuem aterros controlados.

Dados referentes ao número de habitantes, à quantidade de lixo coletado e às localizações das áreas de disposição final de resíduos sólidos para os municípios da UGRHI-11, estão inseridos no Anexo A.

Nove dos vinte e três municípios possuem o local de disposição final localizados a menos de 500 metros de núcleos habitacionais, e onze a menos de 200 metros de drenagens superficiais (rios ou córregos), indo contra as normas da ABNT. Esses dados e outros referentes às características físicas dos locais estão no Anexo B e Anexo C.

Há presença de catadores de produtos recicláveis em nove dos vinte e três municípios da UGRHI-11. Outras informações referentes às condições operacionais dos locais de disposição final de resíduos estão no Anexo D.

Em relação à infra-estrutura, apenas Itapecerica da Serra, que recebe o lixo de São Lourenço da Serra, drena o chorume (líquido escuro, turvo e mal cheiroso, produto da decomposição de substâncias orgânicas por microorganismos, responsável por problemas sanitários e ambientais, como a poluição de águas subterrâneas e de superfície, além do solo e ar - IPT, 2000) e o transporta para a Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri (ETE-Barueri). Outros dados referentes à infraestrutura implantada podem ser visualizados nos Anexo E e Anexo F.

Durante as viagens para conhecimento das atuais áreas de disposição final de resíduos da UGRHI-11, surgiram algumas dúvidas em relação à avaliação da CETESB. Verificou-se que os aterros em valas dos municípios de Itapirapuã Paulista e Tapiraí apresentavam grande quantidade de resíduos descobertos, mesmo assim são classificados como “controlados”. O município de Cajati, também com resíduos descobertos e com sistema de drenagem de águas pluviais precário, é classificado como “adequado”. Já o município de São Lourenço da Serra,

que dispõe seus resíduos em Itapecerica da Serra (município com as melhores condições para disposição final de resíduos, visitado neste estudo), é classificado como “inadequado”.

A CETESB, através da aplicação do IQR (2006), classificou o Município de Itapirapuã Paulista em situação controlada e Cajati em situação adequada. Porém em viagem de campo ao município de Itapirapuã Paulista (18/01/2007), observou-se uma vala com dimensões de, aproximadamente, 3m de largura e 15m de comprimento, totalmente aberta e praticamente cheia de lixo. Considerando que este município produz 700Kg de RSU diariamente, pode-se prever que esta vala deveria estar aberta há um tempo bastante superior a um dia. Em um aterro em valas, o lixo deve ser coberto no final de cada dia de trabalho. Em Cajati (20/01/2007), observou-se precariedade na drenagem das águas pluviais e lixo exposto. Assim, diferente da CETESB que classifica dezesseis municípios da UGRHI-11 em situação inadequada, através das viagens de campo realizadas, classificamos dezoito municípios como inadequados.

2.7.2.1 - Registros fotográficos.

1) Apiáí - Aterro em valas. Visita realizada em 17/01/2007. Aterro com grande quantidade de lixo descoberto (Figura 8) e sem nenhum tipo de drenagem de águas pluviais (Figura 9). Os resíduos de saúde são queimados em uma vala independente, sem nenhum tipo de impermeabilização.

Figura 8. Apiáí

Figura 9. Apiáí

2) Barra do Chapéu - Lixão. Visita realizada em 18/01/2007. Área sem cerca, guarita ou vigia. Lixo descoberto (Figura 10).

Figura 10. Barra do Chapéu

3) Barra do Turvo – Aterro em Valas. Visita realizada em 20/01/2007. Área cercada, com guarita e vigia. Lixo descoberto (Figura 11).

Figura 11. Barra do Turvo

4) Cajati – Aterro controlado. Visita realizada em 20/01/2007. Área cercada, com guarita, sem vigia. Aterro com lixo descoberto (Figura 12) e sistema de drenagem de águas pluviais precário (Figura 13).

Figura 12. Cajati

Figura 13. Cajati

4.1) Cajati – Lixão desativado. Visita realizada em 20/01/2007. Área cercada, coberta por gramíneas e alguns arbustos. No local, há um galpão onde atualmente funciona uma cooperativa de ex-catadores que selecionam e vendem os materiais recicláveis. Os equipamentos utilizados foram doados por empresa particular (Figura 14 e Figura 15). Há presença de grande quantidade de pneus empilhados sem cobertura.

Figura 14. Cajati

Figura 15. Cajati

5) Cananéia – Lixão Visita realizada em 22/01/2007. Área não cercada, sem guarita e vigia. Lixo descoberto (Figura 16 e Figura 17). Nenhum sistema de drenagem de águas pluviais.

Figura 16. Cananéia

Figura 17. Cananéia

6) Eldorado – Lixão. Visita realizada em 17/01/2007. Área não cercada, sem guarita e vigia. Presença de catadores e lixo descoberto (Figura 18).

Figura 18. Eldorado

7) Iguape – Aterro em Valas. Visita realizada em 19/09/2006. Lixo descoberto (Figura 19). Área do aterro próxima a moradias (Figura 20). Presença de rachaduras no solo usado para cobertura das valas (Figura 21) e sem sistema de drenagem de águas pluviais. Lixo exposto em locais onde a disposição não foi feita em valas e sim com cobertura e compactação de solo (Figura 22).

Figura 19. Iguape

Figura 20. Iguape

Figura 21. Iguape

Figura 22. Iguape

8-A) Ilha Comprida – Lixão. Visita realizada em 22/01/2007. Área não cercada, sem guarita e vigia. Localizada a menos de 100m de residências. Lixo descoberto (Figura 23 e Figura 24).

Figura 23. Ilha Comprida

Figura 24. Ilha Comprida

8-B) Ilha Comprida – Lixão. Visita realizada em 12/12/2007. O lixo continua sendo depositado na mesma área (Figura 25).

Figura 25. Ilha Comprida

9) Iporanga – Aterro em valas. Visita realizada em 17/01/2007. Área cercada e com guarita, porém sem vigia (Figura 26). Sem presença de lixo descoberto (Figura 27).

Figura 26. Iporanga

Figura 27. Iporanga

10) Itaóca – Aterro em valas. Visita realizada em 18/01/2007. Área cercada, sem guarita ou vigia. O acesso até o aterro é feito através de propriedade privada. Sem presença de lixo descoberto (Figura 28 e Figura 29).

Figura 28. Itaóca

Figura 29. Itaóca

11) Itapirapuã Paulista – Aterro em valas. Visita realizada em 18/01/2007. A cerca da área apresenta furos e não há guarita ou vigia. Presença de grande quantidade de lixo descoberto dentro da vala (Figura 30).

Figura 30. Itapirapuã Paulista

12) Itariri – Lixão. Visita realizada em 23/01/2007. A cerca da área apresenta furos e não há guarita. Presença de grande quantidade de lixo (Figura 31), sem sistema de drenagem de águas pluviais (Figura 32).

Figura 31. Itariri

Figura 32. Itariri

13) Jacupiranga – Aterro em valas. Visita realizada em 17/01/2007. Área cercada com guarita e vigia. Presença permanente de máquina Retro-escavadeira (Figura 33). Sistema de drenagem de águas pluviais (Figura 34).

Figura 33. Jacupiranga

Figura 34. Jacupiranga

14) Juquiá – Aterro em Valas. Visita realizada em 23/01/2007. Área cercada, com guarita e vigia. Lixo descoberto fora da vala (Figura 35).

Figura 35. Juquiá

15) Juquitiba – Lixão. Visita realizada em 09/02/2007. A área é localizada ao lado do cemitério municipal, atrás da rodoviária, a 100m da Rodovia Régis Bittencourt (BR116) e a menos de 100m de um córrego. Lixo descoberto (Figura 36).

Figura 36. Juquitiba

16) Miracatu – Lixão. Visita realizada em 23/01/2007. Lixo descoberto (Figura 37 e Figura 38), terreno sem nenhum sistema de drenagem de águas pluviais. Área próxima (menos de 100m) a um rio.

Figura 37. Miracatu

Figura 38. Miracatu

17) Pariqüera-Açu – Lixão. Visita realizada em 22/01/2007. Presença de catadores e lixo descoberto (Figura 39). Não há drenagem das águas pluviais (Figura 40). Córrego localizado a menos de 200m.

Figura 39. Pariqüera-Açu

Figura 40. Pariqüera-Açu

18) Pedro de Toledo – lixão. Visita realizada em 23/01/2007. A área é dividida em duas cotas de altitude, em ambas há lixo descoberto (Figura 41 e Figura 42). Não há cerca ou guarita e vigia. Nenhum sistema de drenagem de águas pluviais.

Figura 41. Pedro de Toledo

Figura 42. Pedro de Toledo

19) Registro – Aterro controlado. Visita realizada em 22/01/2007. Área cercada, com guarita e vigias. Sem sistema de drenagem de águas pluviais (Figura 43). Presença de lixo descoberto (Figura 44).

Figura 43. Registro

Figura 44. Registro

20) Ribeira – Lixão. Visita realizada em 18/01/2007. Área cercada, com guarita e vigia. Presença de lixo descoberto (Figura 45 e Figura 46).

Figura 45. Ribeira

Figura 46. Ribeira

21) São Lourenço da Serra – Aterro Controlado. Visitas realizadas em 09/02/2007 e 20/04/2007. Os resíduos sólidos domiciliar-comerciais são dispostos em Itapeceira da Serra. Área cercada, com guarita e vigia. Não há presença de lixo descoberto (Figura 47 e Figura 48). Há sistemas de drenagem de águas pluviais e chorume, que é levado diariamente para a Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri. A área é impermeabilizada por manta plástica. Junto à área do aterro há um galpão, em fase final de construção, onde funcionará uma cooperativa de recicladores, ex-catadores para seleção e comércio de recicláveis (Figura 49). Esta cooperativa conta com uma esteira para triagem dos materiais recicláveis (Figura 50), compactador de papel (Figura 51) e containeres segregadores (Figura 52).

Figura 47. Itapecerica da Serra

Figura 48. Itapecerica da Serra

Figura 49. Galpão Cooperativa de Recicladores

Figura 50. Esteira para triagem do lixo

Figura 51. Compactador de papel

Figura 52. Containeres segregadores

22) Sete Barras – Aterro em valas. Visita realizada em 22/01/2007. Área cercada, com guarita e vigia. Lixo sem cobertura dentro das valas (Figura 53 e Figura 54). Nenhum sistema de drenagem de águas pluviais. O monte de lixo vai até a beira de um córrego; catador informa que à jusante deste há residências.

Figura 53. Sete Barras

Figura 54. Sete Barras

23) Tapiraí – Aterro em valas (Foto 48). Visita realizada em 23/01/2007. Área cercada, com guarita e vigia (Figura 55). Lixo sem cobertura dentro das valas (Figura 56).

Figura 55. Tapiraí

Figura 56. Tapiraí

3 – Dados do Meio Físico

3.1 – Pedologia e Carta Pedológica da UGRHI-11

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS – EMBRAPA, 1999), solo é definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais da Terra, contém matéria viva e podem ser vegetados, onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades humanas.

As classes de solos diferenciam-se em relação à cor, espessura, textura e constituição química e mineralógica. Porém, todas são resultantes de um conjunto de ações a que esteve submetido determinado material de origem. Estas ações são diretamente relacionadas aos fatores de formação (Oliveira, 2005).

São cinco os fatores de formação do solo: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo, que atuam concomitantemente (Jenny, 1941 *apud* Oliveira, 2005).

3.1.1 – Material de origem. Intemperismo

Os solos são resultantes de uma fonte primária: as rochas presentes na litosfera. Quando próximas ou à superfície, as rochas ficam expostas a um ambiente completamente distinto daquele onde se formaram e sujeitas a uma série de agressões ambientais que pouco a pouco vão dismantelando-as e as transformando em materiais mais e mais alterados até chegar ao solo. Entre a rocha sã e o solo há todo um espectro de materiais (rocha cada vez mais alterada e solo mais evoluído), sendo difícil estabelecer o limite entre cada um dos estágios de alteração (Oliveira, 2005).

Ao conjunto de processos decorrentes da atividade climática e biológica sobre as rochas, alterando a sua estrutura e composição, recebe o nome de intemperismo, que pode ser de natureza física (expansão e contração das rochas devido às diferenças de temperatura; e ruptura mecânica pela ação de raízes que penetram por fissuras ou fendas) ou química (hidrólise, oxidação, complexação, hidratação, desidratação e cristalização). Em geral, os dois tipos atuam juntos, mas, dependendo das condições climáticas, pode haver predomínio de um sobre o outro (Oliveira, 2005).

O material alterado, proveniente da desagregação da rocha, poderá permanecer no local em que se desenvolveu ou ser transportado para outro local. Portanto, podem-se classificar esses materiais de acordo com a sua origem (Souza e Zuquete, 1991 *apud* Salomão e Antunes, 1998):

- **residual** ou **autóctone**: formado no local, diretamente da desagregação da rocha subjacente ao perfil do solo;
- **transportado** ou **alóctone**: que, dependendo do agente responsável pelo transporte dos materiais do intemperismo, pode receber as seguintes denominações:
 - coluvionar: ação da gravidade;
 - aluvionar: ação das águas correntes;
 - glacial: ação das geleiras;
 - eólico: ação do vento.

3.1.2 – Clima

Entre os elementos do clima, a temperatura e a precipitação pluvial destacam-se pela ação direta na formação e constituição dos solos.

Através da precipitação pluvial há fornecimento de água para a maior parte dos fenômenos físicos, químicos e bioquímicos que se processam no solo. A temperatura tem influência marcante na velocidade e intensidade com que esses fenômenos ocorrem. Segundo a lei de Van'tHoff, cada 10°C de aumento de temperatura dobra a velocidade das reações químicas. A ação desses elementos (temperatura e precipitação pluvial) pode ser exemplificada nas regiões tropicais quentes e úmidas, onde há solos considerados entre os mais intemperizados do mundo, diferente de solos de regiões temperadas, mais superficiais (Oliveira, 2005).

3.1.3 – Relevo

A ação do relevo reflete-se diretamente nos processos erosivos e de sedimentação e na dinâmica da água, tanto a superficial quanto a que transita no interior do solo.

A topografia é um dos elementos do relevo com maior influência na formação dos solos, pois ela tem ação direta sobre a quantidade de água que penetra no solo ou escorre na superfície. Entretanto, também se deve considerar outras características relacionadas à percolação das águas superficiais e subsuperficiais, como porosidade e permeabilidade dos materiais (solos e/ou rochas) (Oliveira, 2005).

Regiões com relevo pouco acentuado (topografia suave) e com materiais permeáveis, facilitam a infiltração das águas pluviais. Neste caso, os processos pedogenéticos atuam com maior intensidade e em maior profundidade, alterando as rochas e removendo os elementos

químicos solúveis. Os processos erosivos são menos atuantes e os solos tendem a ser mais profundos e muito lixiviados.

Em locais em que existam materiais de baixa permeabilidade, apenas um pequeno volume das águas pluviais infiltrará, causando a saturação do solo em água nas épocas chuvosas. Dependendo dos elementos em solução, fenômenos químicos podem ocorrer, tais como a redução de cátions metálicos reproduzindo solos conhecidos por hidromórficos, ou solos com altas concentrações de sais, se houver aporte de elementos solúveis provenientes de montante das vertentes.

Nas regiões com relevo mais acidentado, um grande volume de águas pluviais é perdido em escoamentos laterais, favorecendo os processos erosivos e retardando o aprofundamento da pedogênese. Os solos formados são, normalmente, pouco desenvolvidos e rasos.

3.1.4 – Organismos

Flora e fauna têm ação direta nos processos pedogenéticos, agindo tanto no interior quanto na superfície do solo. A cobertura vegetal tem duas ações básicas na formação dos solos: uma passiva e protetora, age como atenuante da agressividade climática, especialmente em relação à precipitação pluvial e à incidência da radiação solar, e outra mais ativa, age nos processos fisiológicos (absorção de água e dos compostos nela dissolvidos, transpiração, exsudação, etc.) e pela adição na superfície do terreno de galhos, folhas, ramos, sementes, e de raízes e tubérculos no interior do solo.

A vegetação tem participação ativa nos processos de troca catiônica com o material do solo, através do contato direto das raízes com as superfícies coloidais, além de relevante

participação na estocagem de nutrientes no interior de seus tecidos, pela absorção de cátions da solução do solo, os quais retornam ao solo pela adição dos resíduos vegetais ou dele são exportados pelas colheitas agrícolas e explorações florestais. Destaca-se ainda a participação da vegetação no processo de intemperismo, pois sua atividade fisiológica aumenta a concentração de íons hidrogênio, permitindo que o fenômeno de hidrólise se manifeste com mais intensidade e, conseqüentemente, que o intemperismo se processe a maior velocidade.

A fauna tem importância como agente homogeneizador dos solos e na abertura de galerias, influenciando decisivamente no fluxo interno de ar e água. Como representantes deste grupo, citam-se as minhocas, térmitas, formigas, tatus e muitos roedores. Alguns invertebrados, sobretudo minhocas, têm destacado papel na agregação do solo (Oliveira, 2005).

A microflora e a microfauna têm destacada ação nos estágios iniciais do intemperismo químico e físico das rochas. As hifas penetram através das fissuras das rochas e a expansão e contração dos seus talos, bem como a expansão de sais provenientes de suas atividades agem na ruptura mecânica das rochas, desagregando-as e esfoliando-as. Por outro lado, os líquens excretam vários ácidos orgânicos, particularmente o ácido oxálico, os quais têm o poder de dissolver os minerais e complexar cátions metálicos.

As bactérias atuam na decomposição dos compostos orgânicos e na fixação de nitrogênio. Juntamente com os fungos, elas também têm importante papel na oxidação de compostos de Fe e Mn, com importantes reflexos na morfologia e composição dos solos (McKenzie, 1989).

3.1.5 – Tempo

O tempo é considerado o mais passivo dos fatores de formação do solo, pois ele não adiciona nem exporta material e não contribui nos fenômenos de intemperismo mecânico e químico, necessários à formação de um solo. Contudo, como os outros fatores variam ao longo do tempo, em si mesmos e em suas relações mútuas, ele condiciona o resultado final dessas interações. Assim, pode-se dizer que fatores e processos pedogenéticos não podem ser dissociados da dimensão temporal. Quanto mais longo o período ocorrido a partir de determinado momento, mais tempo determinado material de origem ficará sujeito à ação conjunta dos fatores e processos pedogenéticos (Paton, 1977 *apud* Oliveira, 2005).

3.1.6 – Solos da UGRHI-11

A carta pedológica da UGRHI-11 (Figura 57) foi baseada em Lepsch *et al.* (1999), que utiliza a antiga legenda de solos do Mapa de 1960 (BRASIL, 1960). Porém, nas classes de solos citadas a seguir, quando existentes, são citadas as atualizações do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS).

Figura 57. Mapa Pedológico do Vale do Ribeira de Iguape e Litoral Sul.

3.1.6.1 – Latossolos

Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais de 150 cm de espessura (OLIVEIRA, 1999).

Nos latossolos de textura média, o teor relativamente elevado de areias confere-lhes uma geometria de poros onde os macroporos são preponderantes. Nesta situação, e devido à ausência de impedimentos internos (coesão elevada), a permeabilidade da água através do solo é rápida. Em alguns casos a elevada quantidade de areia determina também uma retenção de água relativamente baixa, o que qualifica os solos desta classe como pouco filtrantes. Assim, apesar da sua espessura, existem possibilidades de contaminação dos aquíferos. Mesmo os de textura bastante argilosa apresentam excepcional porosidade total, sendo comuns valores de 50-60% (OLIVEIRA, 2005).

A baixa atividade das argilas dos latossolos confere-lhes diminuta expansibilidade e contratibilidade, qualificando, os de textura argilosa, como excelente material para piso de estradas. Por serem solos fáceis de escavar e ainda bastante profundos e porosos são muito apropriados para cemitérios e aterros sanitários (OLIVEIRA, 2005).

Os latossolos da UGRHI-11 são dos tipos:

- Latossolo Amarelo Álico: solos com matiz mais amarelo que 5YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA);
- Latossolo Vermelho-Amarelo Álico: solos com matiz 5YR ou mais vermelhos e mais amarelos que 2,5YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA);

- Latossolo Variação Una Distrófico ou Álico: No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS), esta classe é correspondente ao Latossolo Amarelo.

3.1.6.2 – Terra Bruna Estruturada Distrófica

Foi englobado no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Latossolos Brunos**. Em certos casos, são subordinados ao Argissolo Vermelho-Amarelo. Apresenta os seguintes requisitos:

- Horizonte A com mais de 30 cm de espessura, com teores de carbono orgânico acima de 1%, inclusive no BA.
- Textura argilosa ou muito argilosa em todo horizonte B.
- Alta capacidade de retração do solo, com perda de umidade evidenciada pelo fendilhamento acentuado em cortes de barrancos expostos ao sol por curto espaço de tempo (aproximadamente uma semana), formando uma estrutura do tipo prismática.

3.1.6.3 – Podzólicos

Reclassificado no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Argissolo**. Os Argissolos compreendem, depois dos Latossolos, a ordem mais extensa de solos brasileiros. Eles abrangem uma gama enorme de solos, desde eutróficos, distróficos a álicos até alumínicos, rasos a muitos profundos, abruptos ou não, com cascalho, cascalhentos ou não, com fragipã e até com caráter solódico, o que torna difícil uma apreciação generalizada para os solos dessa ordem como um todo (OLIVEIRA, 2005).

Os Argissolos são geralmente solos muito profundos, não apresentam impedimentos físicos à penetração do sistema radicular pelo menos até 200 cm de profundidade. A presença de saprolitos a menos de 200 cm de profundidade não impede o enraizamento, pois tais camadas são espessas e a rocha intemperizada é branda. Estas camadas podem constituir-se em importantes zonas de reservas de nutrientes (OLIVEIRA, 1999).

Os principais atributos diagnósticos dos argissolos são o acréscimo de argila em profundidade e a baixa capacidade de troca de cátions (CTC). A cor vermelha está relacionada à presença de solos originados de rochas básicas ou ricas em minerais ferromagnesianos apresentando por isso, em geral, teores mais elevados em cátions trocáveis e em micronutrientes em comparação com solos menos vermelhos (OLIVEIRA, 1999).

Oliveira (2005) divide os Argissolos em duas subordens:

- ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO: com matiz 5YR ou mais vermelho e mais amarelo que 2,5YR na maior parte do horizonte B, inclusive BA;
- ARGISSOLOS VERMELHOS: com matiz 2,5YR ou mais vermelhos na maior parte do horizonte B, inclusive BA.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos apresentam maior relação textural entre os horizontes A ou E e o horizonte B textural do que os Argissolos Vermelhos, sendo por isso, em igualdade de condições de relevo, de cobertura vegetal e de manejo, mais suscetíveis à erosão do que estes. Outra característica mais comum nos Argissolos Vermelho-Amarelos é a presença dos caracteres arênico ou espessoarênico, que correspondem à presença de horizonte A + E de textura arenosa e com espessura de 50-100 cm e superior a 100 cm, respectivamente. O caráter espessoarênico é menos freqüente que o arênico. Um fator que pode limitar o uso de Argissolos num aterro sanitário é o declive, fato agravado pela

espessura do solo, em geral inferior a 3-4 metros. Assim, os declives ideais são os menos acentuados, em torno de 8% (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.4 – Podzólico Bruno-Acizentado Eutrófico

Reclassificado no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Luvissolo Hipocrômico**. Solos constituídos por material mineral com argila de atividade alta, saturação por bases alta e horizonte B textural ou B nítico imediatamente abaixo de horizonte A fraco, ou moderado, ou horizonte E. A baixa permeabilidade do horizonte B facilita os processos erosivos (OLIVEIRA, 1999).

Os Luvissolos, em sua grande maioria, apresentam textura arenosa ou média em superfície, fato que determina consistência macia, friável, ligeiramente plástica e pegajosa, apesar de a fração argila ser de elevada atividade (OLIVEIRA, 2005).

São solos que apresentam limitação moderada a severa como local para aterro sanitário porque, apesar de todos os Luvissolos do Estado de São Paulo serem pálicos (horizonte B + horizonte A = superior a 80 cm), são solos que apresentam o regolito (*solum* + horizonte C + saprolito) de espessura inferior a 2 metros (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.5 – Podzol

Reclassificado no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Espodossolos**. No Brasil, os Espodossolos, em sua grande maioria, possuem textura arenosa ao longo do perfil, sendo pouco freqüentes os que apresentam horizonte B de textura média e raros os de textura argilosa. A condição de textura arenosa determina elevada permeabilidade, ressecamento

rápido, elevada taxa de decomposição da matéria orgânica e virtual ausência de reservas em nutrientes, posto que a fração grosseira seja constituída, com raras exceções, por quartzo (OLIVEIRA, 2005).

Em consequência da textura grosseira, são muito porosos e com elevada permeabilidade. Esses atributos, juntamente com a baixa capacidade sortiva, caracterizam tais solos como pouco adequados para receberem efluentes, aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos relacionados (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.6 – Brunizém Avermelhado

Reclassificado no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Chernossolos**. Solos muito férteis, pois apresentam elevada CTC e saturação por bases elevada, o que determina uma alta capacidade de suprimento de macronutrientes para as plantas. A maioria desses solos está situada em relevo escarpado associado à presença de rochas expostas e geograficamente associados a solos rasos.

A declividade e, em certos casos, a profundidade são fatores limitantes ao uso de tais solos para aterro sanitário, assim como locais para recebimento de efluentes e lagoas de decantação (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.7 – Cambissolos

O conceito central é o de solos em estágio intermediário de intemperismo, isto é, que não sofreram alterações físicas e químicas muito avançadas. É também uma característica desses solos a pequena variação do teor de argila ao longo do perfil, exceção feita aos

Cambissolos desenvolvidos de sedimentos aluviais, os quais podem apresentar distribuição de argila bastante irregular.

A concepção central é, portanto, a de solos que apresentam teores relativamente elevados de minerais primários facilmente intemperizáveis, atividade da fração argila de média a alta e *solum* com discreta variação de textura (OLIVEIRA, 2005).

A maior parte dos Cambissolos do Estado de São Paulo ocorre em duas situações bem distintas, a mais extensa é Áquila representada por terrenos situados em relevo bastante acidentado variando de forte ondulado a escarpado, enquanto a outra é representada por terrenos planos de planícies aluviais. Tais solos apresentam elevada erodibilidade e forte a muito forte limitação à trafegabilidade a qual é ainda penalizada pelos freqüentes afloramentos de rochas e pela presença de solos rasos representados pelos Neossolos Litólicos. É comum a presença de horizonte Cr (saprolito) constituído por rocha parcialmente intemperizada a profundidades inferiores a 1,5 m (OLIVEIRA, 1999).

As limitações destes solos para uso não-agrícola - aterro sanitário, lagoa de decantação e cemitério - são relacionadas a regiões onde exista pouca profundidade efetiva (em alguns casos, a profundidade máxima é de 100 cm) e, no caso de Cambissolos situados em planícies aluviais, apresentando riscos de inundações (OLIVEIRA, 2005).

3.1.6.8 – Solos Gleizados

Reclassificado no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Gleissolos**. A ordem dos Gleissolos compreende solos hidromórficos constituídos por material mineral e que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo, ou a profundidades entre 50 e 120 cm. A grande maioria desses solos encontra-se em planícies

aluviais, em locais onde o nível freático, normalmente, é elevado (menos de 50 cm da superfície do terreno). A condição de drenagem interna má a muito má é, portanto, geral para todos os solos dessa classe. Essas características constituem sérias limitações ao uso agrícola e não-agrícola (OLIVEIRA, 2005).

A aeração inadequada aumenta a resistência da difusão dos gases do solo para a atmosfera e vice-versa, consumindo rapidamente o oxigênio do solo pelos microorganismos e plantas, inibindo o crescimento das raízes; ocorre, então, diminuição da absorção de água, apesar do ambiente encharcado, e redução da fotossíntese (WILLEY, 1970 *apud* OLIVEIRA, 1999). Além disso, a importante perda de N mineralizado e o ambiente redutor facilitam a formação de compostos bivalentes de Fe e Mn, os quais são tóxicos (OLIVEIRA, 1999).

Tais solos, quando drenados, formam horizonte sulfúrico, o qual limita também seriamente seu aproveitamento, além de apresentar corrosividade elevada para estruturas metálicas não protegidas neles enterrados (OLIVEIRA, 2005).

Os Gleissolos, de maneira geral, pela presença do nível freático próximo da superfície do terreno e conseqüente probabilidade de sua contaminação e pela localização em planícies aluviais sujeitas a inundações, não são adequados para uso como cemitérios, aterros sanitários e lagoas de decantação (OLIVEIRA, 2005).

3.1.6.9 – Solos Orgânicos

Reclassificados no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Organossolos**. Compreendem solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico proveniente de acumulações de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambientes mal a muito mal drenados, ou em ambientes úmidos de altitude elevada. Em todos os casos, possuem

coloração preta, cinzenta muito escura ou marrom e elevados teores de carbono orgânico (OLIVEIRA, 2005).

Os Organossolos do Estado de São Paulo são todos formados em planícies aluviais, com ambiente palustre. Em vista da elevada quantidade de matéria orgânica, em estágios variados de decomposição, apresentam densidade aparente muito baixa, elevada porosidade e capacidade de retenção de água, baixa capacidade de suporte (alta compressibilidade) e elevado poder tampão. Os Organossolos são qualificados como solos impróprios para aterros sanitários, ou com sérias limitações, como áreas para recebimento de efluentes, pela sua restrita zona de aeração e facilidade de contaminação dos aquíferos. (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.10 – Solos Aluviais

Reclassificados no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Neossolos Flúvicos**. Formados em sedimentos aluviais e situados em relevo aplainado ou deprimido, portanto, sem problemas relacionados à erosão (OLIVEIRA, 2005).

Apresentam horizonte A assente sobre o horizonte C, constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si, apresentando decréscimo irregular do conteúdo de carbono orgânico em profundidade, dentro de 200cm da superfície do solo e/ou camadas estratificadas em 25% ou mais do volume do solo, dentro de 200cm da superfície do solo.

Os Neossolos Flúvicos apresentam profundidades variadas. Porém, predominam os solos profundos. Podem apresentar textura argilosa, média ou arenosa. Pela boa permeabilidade e pelo elevado nível freático em relação à superfície, esta classe de solo

apresenta limitações moderadas a severas como áreas para depósito de efluentes e seguramente não são indicadas para aterro sanitário (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.11 – Solos Litólicos

Reclassificados no SBCS (EMBRAPA, 1999) como **Neossolos Litólicos**. Solos com horizonte A ou O hístico com menos de 40 cm de espessura assente diretamente sobre rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam caráter litóide dentro de 50 cm da superfície do solo. Admitem um horizonte B em início de formação cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (OLIVEIRA, 1999).

Grande parte desses solos ocorre em relevo forte ondulado a montanhoso e, em muitos casos, com rochas expostas. De maneira geral, devido à sua grande fragilidade, deveriam ser mantidos como reserva natural. Porém, é comum encontrar reflorestamentos, pastagens e até culturas como cana de açúcar em regiões providas deste tipo de solo (OLIVEIRA, 1999).

A suscetibilidade à erosão, as limitações à trafegabilidade, a pequena espessura e a presença de acentuado fraturamento desqualificam este tipo de solo como locais para aterro sanitário (OLIVEIRA, 1999).

3.1.6.12 – Solos de Mangue

Tais solos correspondem aos **Gleissolos Tiomórficos** e **Gleissolos Sálcos** do SBCS (EMBRAPA, 1999). Não são usados na agricultura. Encontram-se, praticamente cobertos pela

vegetação natural de mangue, sujeitos às marés. A presença de material sulfídrico é comum nesses solos, desenvolvendo elevada acidez (pH em água inferior a 3,5) (OLIVEIRA, 1999).

Pelo elevado nível freático em relação à superfície e pela situação em planícies aluviais sujeitas a inundações, não são adequados para uso como cemitérios, aterros sanitários e lagoas de decantação (OLIVEIRA, 2005).

3.2 - Geologia da bacia do rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul no Estado de São Paulo

A interpretação da geologia da área compreendida pela bacia do Ribeira de Iguape e Litoral Sul é sujeita a controvérsias acirradas entre os geólogos e outros profissionais que a estudaram, o que obriga a tomar partido e declará-lo. O resumo que se segue foi elaborado pelo Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha, do Instituto de Geociências da USP, sendo as interpretações baseadas em seus trabalhos de campo e laboratório, e apresentadas em Campanha et. al. (1995). O mapa geológico encontra-se na Figura 58.

Mapa Geológico do Vale do Ribeira de Iguape e Litoral Sul

63

Figura 58. Mapa Geológico do Vale do Ribeira de Iguape e Litoral Sul.

O Ribeira de Iguape é o único grande rio no Estado de São Paulo que corre diretamente para o oceano. As demais grandes bacias, tais como as do Tietê, do Paranapanema e do Paraíba, têm suas nascentes nos contrafortes da Serra do Mar e da Serra de Paranapiacaba, correndo ou para o rio Paraná, ou em direção ao estado do Rio de Janeiro, no caso do Paraíba. A bacia do Ribeira insere-se num relevo bastante dissecado e movimentado, alcançando altitudes maiores que 1.000 metros e com áreas de alta declividade, pertencendo em termos geomorfológicos na sua maior parte à Província Costeira (Almeida, 1964), a qual limita-se com o Planalto Atlântico através dos divisores das serras do Mar e de Paranapiacaba. É interessante notar que o limite da Província Costeira com o Planalto Atlântico é mais nítido no litoral norte, onde a Serra do Mar é nitidamente uma escarpa de falha recuada (Almeida, 1976, Almeida e Carneiro, 1998), enquanto que no vale do Ribeira e litoral sul esse limite é recuado dezenas de quilômetros para dentro do continente, através da erosão regressiva do Ribeira. Alguns setores planálticos estão incluídos na área da bacia, como os planaltos de Alto Turvo, da Tapagem, parte dos planaltos de Guapiara, Ibiúna, Paulistano e outros menores.

Tanto em termos geomorfológicos como geológicos a bacia do Ribeira pode ser subdividida em dois grandes domínios: as baixadas litorâneas, constituídas predominantemente por depósitos sedimentares cenozóicos, e as serranias costeiras, constituídas em geral por rochas do embasamento cristalino, com idades pré-cambrianas a eopaleozóicas, mas também com algumas importantes manifestações ígneas mesozóicas.

A evolução geológica pode ser sintetizada em três grandes estágios. Um orogênico, com idades entre 650 e 540 Ma (mas envolvendo também terrenos mais antigos), associado a deformação, metamorfismo e magmatismo, constituindo o que se costuma denominar cinturão Ribeira. No segundo, ao final desse período e com o resfriamento do cinturão Ribeira, a

região passa a fazer parte de um antigo supercontinente, o Gondwana, com um longo período de estabilidade tectônica que durou até o Mesozóico. Do período gondwânico os únicos registros geológicos na área da bacia do Ribeira ocorrem no seu extremo oeste, no Estado do Paraná, com a deposição das formações Furnas e Ponta Grossa, da base da bacia sedimentar do Paraná, durante o Paleozóico (Devoniano). O terceiro estágio relaciona-se com a ruptura do Gondwana, e a conseqüente separação entre América do Sul e África, durante o Mesozóico, entre o Jurássico e o Cretáceo, sendo representada por importante enxame de diques de rochas básicas com orientação NW, denominado de alinhamento de Guapiara, e grandes corpos aproximadamente circulares de rochas ígneas alcalinas, como os de Jacupiranga, Juquiá e Pariquera-Açu. A evolução tectônica, sedimentar e geomorfológica que se segue durante o Cenozóico é balizada pela separação dos continentes e a evolução da margem continental brasileira.

A estruturação geológica é, em grande parte, dada pelos terrenos cristalinos mais antigos. Nestes um sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes, com direção ENE, desenvolvido entre o final do Pré-cambriano e o início do Paleozóico, condiciona os principais compartimentos geológicos. Até mesmo as unidades ígneas mesozóicas e sedimentares cenozóicas mostram algum condicionamento por essas estruturas mais antigas, através da reativação das estruturas antigas nos períodos mais modernos. A mais proeminente dessas estruturas é a zona de cisalhamento ou falha de Cubatão.

3.2.1 - Embasamento Cristalino

No embasamento cristalino, podem ser distinguidos (Campanha e Sadowski, 1999):

1) um grande conjunto de rochas metamórficas de baixo a médio grau, com protólitos sedimentares e/ou vulcânicos, estruturação complexa, com idades variando entre o Mesoproterozóico e o Neoproterozóico (1.400 a 540 Ma); tradicionalmente atribuído ao Grupo ou Supergrupo Açungui; as principais unidades no qual subdivide-se são o Grupo Itaiacoca, a Formação Água Clara, o Subgrupo Lajeado, a Formação Iporanga, o Subgrupo Ribeira, a Formação Capiçu, o Complexo Turvo – Cajati e o Complexo Embu; incluem uma grande variedade de rochas metamórficas, como filitos, ardósias, xistos, metacalcários, metarenitos, metaconglomerados, metabásicas, metamargas, etc.;

2) um conjunto de rochas gnáissico – migmatíticas, orto- e paraderivadas, de grau metamórfico médio a alto, e idades relativas principalmente ao Paleoproterozóico (1.800 a 2.200 Ma), com alguns núcleos eventualmente de idade arqueana (maior que 2.600 Ma); ocorre essencialmente a sul da zona de cisalhamento de Cubatão, incluindo os complexos Atuba (ou Gnáissico – migmatítico), Itatins, Serra Negra e Alto Turvo;

3) um conjunto também extenso de rochas granitóides neoproterozóicas, o qual intrude as litologias anteriores, e pode ser subdividido em duas grandes suites, a sin- a tardi-tectônica, com idades entre 650 e 590 Ma, e a pós-tectônica, com idades entre 590 e 540 Ma;

4) duas pequenas bacias da fase de transição, a Formação Quatis e o Conglomerado Samambaia, com idades prováveis relativas ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico (590 a 500 Ma).

3.2.2 - Magmatismo mesozóico

O alinhamento de Guapiara manifesta-se como um feixe de diques de diabásio, com orientação NW, balizado aproximadamente pelas cidades de Jacupiranga e Juquiá.

Compreende corpos tabulares, verticais, com espessuras variando de decímetros até dezenas de metros, e comprimentos de dezenas de metros a poucas dezenas de quilômetros. Fora do Alinhamento de Guapiara, os diques de diabásio ocorrem isoladamente, destacando-se o do Betari, que controla o vale do rio homônimo.

Os corpos de rochas alcalinas são representados pelos maciços de Jacupiranga, Juquiá, Pariquera-Açu e Morro de São João (Cananéia), com formato circular a elíptico, incluindo nefelina sienitos, jacupiranguitos, ijolitos, carbonatitos e peridotitos.

3.2.3 - Sedimentação Cenozóica

A região do baixo vale do Ribeira é um dos mais extensos sítios de sedimentação cenozóica do Estado de São Paulo. Inclui uma sedimentação atual em ambientes variados, como fluvial (aluviões), marinho praial, mangues, fundo de baías e estuários, eólica e de encosta (tálus e colúvios).

As planícies sedimentares ocorrem em duas áreas principais, uma ampla em forma de leque abrindo a partir de Registro em direção ao mar, entre as serranias da Juréia e da Ilha do Cardoso, e outra o longo do trecho ENE do rio Ribeira e do rio Juquiá, onde corre o gráben de Sete Barras.

Existe registro sedimentar desde o Paleógeno, representado pela Formação Sete Barras, porém a sedimentação atual a sub-atual tende a recobrir a mais antiga, sendo mais representativa em área.

A Formação Sete Barras (Melo, 1990) ocorre no gráben (depressão tectônica) homônimo, composta por fanconglomerados nas bordas e depósitos lacustres no centro, sendo

quase que totalmente recoberta por sedimentos mais recentes. Outros grábens provavelmente de mesma idade e reconhecidos por geofísica são os de Cananéia e Iguape.

Durante o Mioceno deposita-se a Formação Pariqüera-Açu, constituída por depósitos continentais incluindo leques aluviais, fluviais meandantes e lacustres.

Acompanhando o médio vale do Ribeira, e também do rio Jacupiranga, encontram-se terraços aluvionares da Formação Eldorado Paulista (Melo, 1990), atribuída ao Plioceno.

Boa parte da planície costeira é recoberta pela Formação Cananéia, que corresponde a uma transgressão marinha pleistocênica (cerca de 100.000 a.p.), constituída por cordões litorâneos, alguns metros acima do nível do mar atual.

Finalmente, além dos cordões litorâneos atuais, existem os sub-atuais, destacando-se aqueles associados à transgressão holocênica ocorrida há 5.000.

3.2.4 - Condicionamento geológico da área da Bacia

A geologia condiciona, embora em alguns casos não seja o fator mais importante, diversas características da área da bacia, quais sejam: geomorfologia, pedologia, o uso dos materiais para finalidades geotécnicas e de construção civil e o aproveitamento de recursos minerais e hídricos.

Tanto pela interpretação tradicional (do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, incorporado ao Relatório Zero), quanto pela interpretação que privilegia a dinâmica geotectônica associada aos fatores morfoclimáticos, resultando nos Sistemas Ambientais (Ross, 2002), o fator geológico é predominante como condicionante das formas de relevo e de sua evolução, o que será detalhado no item próprio.

O uso da terra, tanto para finalidades agrícolas quanto para a implantação de obras, também é fortemente condicionado pela geologia, nessa área.

Chiodi *et al.* (1982) apresentam uma extensa tabela correlacionando as unidades geológicas com os fatores dela derivados (geomorfologia, pedologia, potencialidade mineral e favorabilidade à ocupação humana).

3.3 - Cobertura Vegetal

O termo Mata ou Floresta Atlântica inicialmente foi utilizado para as formações florestais costeiras (Rizzini, 1963), sendo que hoje é empregado genericamente. Isto acontece mesmo na legislação, que confere ao termo uma designação mais ampla e genérica, pois incluiu as matas semidecíduas do interior do Estado de São Paulo e a floresta de araucárias.

A extensão original da Mata Atlântica cobria mais de 1.360.000km² do território brasileiro, estendendo-se desde a região Nordeste até o Rio Grande do Sul, ou aproximadamente 12% do território nacional. O processo de desflorestamento, iniciado com a colonização do Brasil no século dezesseis, foi tremendamente intensificado durante a segunda metade do século vinte, de forma que as florestas ao longo da costa, assim como as do planalto, virtualmente desapareceram.

Atualmente, esse importante ecossistema está reduzido a menos de 8% de sua extensão original, segundo os resultados recentes do Atlas da Evolução dos Remanescentes Florestais e dos Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica, desenvolvido pela Fundação SOS Mata Atlântica e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A colonização sem planejamento, juntamente com a especulação imobiliária na região impõem ameaças praticamente incontroláveis.

A degradação de um ecossistema, tal como o da Mata Atlântica, está relacionada à fragilidade dos fatores abióticos à ação antrópica, como na suscetibilidade erosiva de certas classes de solo e nas instabilidades dos sistemas hídrico e geológico.

3.3.1 - Estudos Nacionais

A atual classificação universal do IBGE identifica como tipo de vegetação predominante na Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape: a Floresta Ombrófila Densa, além disso, reconhece a existência de área de tensão ecológica em que existe contato (transição) da Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista.

A Floresta Ombrófila Densa, segundo Veloso *et. al* (1991), é caracterizada por fanerófitos (plantas lenhosas de alto e médio porte), além de lianas lenhosas e epífitos em abundância. Sua característica ecológica principal está presa aos fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação bem distribuída durante o ano, praticamente sem período seco.

A Floresta Ombrófila Mista também é conhecida como “mata-de-araucária ou pinheiral”.

3.3.2 - Estudos Regionais

Os estudos regionais realizados foram:

- a. Mapeamento e quantificação das diferentes fitofisionomias da vegetação natural e do reflorestamento do Estado de São Paulo realizado pelo Instituto Florestal (IF) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo;

- b. Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período de 1995 a 2000, elaborado pela Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Instituto Socioambiental;
- c. Projeto Olho Verde: mapeamento e monitoramento da vegetação do Estado de São Paulo, realizado pelo Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais (DEPRN) e a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE;
- d. Macrozoneamento da Região do Vale do Ribeira (1990): realizado pela Secretaria do Meio Ambiente e Corpo de Engenheiros Consultores (Engecorps) em escala 1:50.000.

Tabela 3.3.1 - Principais mapeamentos da vegetação

Mapeamentos da vegetação do Estado de São Paulo/ Vale do Ribeira	
Instituto Florestal/ Fapesp Biota Mapa: Mapa de vegetação remanescente do Estado de São Paulo, 2004, Programa Biota/Fapesp, Instituto Florestal/SMA, Centro de Referência em Informação Ambiental	Mapa disponível no site: http://sinbiota.cria.org.br/atlas/ Mapa regional e mapas municipais disponíveis no site do SIG-RB: http://geolig.igc.usp.br/geoproc
DEPRN Projeto Olho Verde	Relatório impresso
Macrozoneamento do Vale do Ribeira Remanescentes – Fundação SOS Mata Atlântica	edição em CD-ROM Disponível no site: http://www.sosmatatlantica.org.br

Tabela 3.3.2 – Variação da cobertura vegetal natural de 1988 a 1994 (valores em hectares)

Município	Mata		Capoeira		Campo Natural		Restinga		Mangue		Cobertura Vegetal Natural Total	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Barra do Turvo	63134.5	60319.5	5803.4	4645.6	0	0	0	0	0	0	68937.9	64965.1
Cajati	15476.8	15042	5236.2	5032	0	0	0	0	0	0	20713	20074
Cananéia	62843.2	62645.5	2461	2494.9	0	0	27309.3	27352.5	10096.3	10101.3	102709.8	102594.2
Eldorado	115579.3	117143	10660.2	10293.4	7.1	7.1	0	0	0	0	126246.6	127443.3
Iguape	50507.6	49035.1	5700.9	5489.3	1081.7	1125.2	99527.9	99414.6	1920.7	1903.6	158738.8	156967.8
Ilha Comprida	0	0	2.3	2.3	0	0	10322.1	10781.7	911.6	923.9	11236	11707.9
Itariri	9795.5	7590.3	2282.6	1522.5	0	0	225.8	160.8	0	0	12303.9	9273.6
Jacupiranga	35399.4	34421.1	4560.9	4544.2	0	0	0	0	0	0	39960.3	38965.3
Juquiá	49072.1	48704	5606.3	5686.7	192.1	193.8	0	0	0	0	54870.5	54584.5
Miracatu	65347.1	65111.4	6833	6841.9	0	0	0	0	0	0	72180.1	71953.3
Pariquera-Açu	6074.1	6052.5	5457.3	6377.7	55	55	3995.2	5754.8	0	0.2	15581.6	18240.2
Pedro de Toledo	52008.4	51514.9	2013.3	2013.1	0	0	0	0	0	0	54021.7	53528
Registro	14927.9	15843.2	5756	9978.3	1615.3	2307.3	6499	7006.2	0	0	28798.2	35135
Sete Barras	64880	69578	5547.4	6931.4	1366.4	1791.5	0	0	0	0	71793.8	78300.9

Fonte: CBH-RB (2008b).

Os mapeamentos regionais, como o projeto Olho Verde do DEPRN (Tabela 3.3.2) e do Instituto Florestal, incluem categorias que consideram o estágio sucessional da mata, utilizando-se as categorias mata e capoeira. Além disso, nesse nível de estudo o maior detalhamento permite o mapeamento dos ecossistemas associados como a restinga e o mangue.

De acordo com levantamento da vegetação natural remanescente do Estado de São Paulo realizado pelo Instituto Florestal, efetuado pela medição de áreas interpretadas em fotos aéreas, a região administrativa do litoral que inclui o Vale do Ribeira apresentou acréscimo de vegetação (9,6%), se comparado o período de 1991-1992 a 2000-2001 (Tabela 3.3.3). É o maior acréscimo em área, para todas as regiões administrativas, e o segundo em percentagem, sendo inferior ao do Vale do Paraíba. A distribuição atual da cobertura do solo da UGRHI-11 pode ser visualizada na tabela 3.3.4.

Tabela 3.3.3 – Variação da cobertura vegetal natural

Região	Levantamentos (ha)		Acréscimo	
	1990-91	2000-01	(ha)	(%)
Litoral	1.060.082	1.161.802	101.720	9.6

Fonte: Kronka et. al. (2003)

A equipe do Laboratório de Informática Geológica do Instituto de Geociências da USP, como parte de um projeto de pesquisa para avaliação da variação do uso do solo nas UCs do Estado de São Paulo (Macedo *et. al.*, 2002), comparou as percentagens da vegetação densa em imagens LANDSAT de sensoriamento remoto orbital, concluindo ter havido aumento da área classificada como vegetação natural (Tabela 3.3.4) e nos pixels que apresentaram aumento do Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (70% dos pixels), em valores superiores aos levantados pelo IF para a Região Administrativa Litoral. A área coberta por esse estudo é um pouco diferente, resumindo-se à parte da imagem 220-77 contida

nos limites da UGHRI-11, que não abrange a área mais povoada do litoral, o que pode explicar as diferenças.

Tabela 3.3.4 – Variação nos tipos de cobertura vegetal no Vale do Ribeira

Tipo de cobertura	Representação (%)		Relação (%)
	1986	2002	2002/1986
água/sombra	0.59	0.71	0.12
Urbano/solo exposto	9.85	3.92	-5.93
Cultivo	15.3	8.86	-6.44
Mangue	1.69	5.14	3.45
Floresta	62.73	66.51	3.78
Restinga	8.63	8	-0.63
Capoeira	1.22	6.86	5.64
solo+cultivo	25.15	12.78	-12.37
vegetação natural e recuperação	74.26	86.51	12.25

Fonte: Macedo *et. al* (2002)

3.3 - Unidades de Conservação da UGRHI-11

A Lei Federal 9.985 de 18 de julho de 2000, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. De acordo com o artigo 2º, parágrafo I desta lei, “Unidade de conservação é o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”.

Com objetivos diversos e graus diferenciados de restrição, as unidades de conservação ambiental podem dispor de determinações extremamente rígidas que impedem a utilização integral de seus atributos naturais. Podem também ser mais flexíveis, permitindo usos compatíveis com a capacidade de regeneração ou de suporte ambiental. Sujeitas a um regime jurídico especial que determina ao poder público a incumbência de “definir todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos,

sendo a alteração e supressão permitidas somente através da lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção” (ROSS, 2006).

As unidades de conservação integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos, com características específicas (Lei Federal 9.985, artigo 7º):

- Unidades de Proteção Integral: O objetivo básico é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei.

O grupo das Unidades de Proteção Integral é composto pelas seguintes categorias de unidade de conservação:

- Estação Ecológica;
- Reserva Ecológica;
- Parque Nacional;
- Monumento Natural;
- Refúgio da Vida Silvestre.

Estação Ecológica: tem como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas. É de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a Lei. É proibida a visitação pública, exceto quando com objetivo educacional, de acordo com o que dispuser o Plano de Manejo da unidade ou regulamento específico. A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.

- Parque Nacional: tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. É de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas, de acordo com o que dispõe a Lei. A visitação pública está sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da Unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento. A pesquisa científica depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento. As unidades dessa categoria, quando criadas pelo Estado ou Município, serão denominadas, respectivamente, **Parque Estadual** e Parque Natural Municipal.

As Unidades de Proteção Integral da UGRHI-11 estão na Tabela 3.3.5.

Tabela 3.3.5 - Unidades de Proteção Integral no Vale do Ribeira e Litoral Sul

Unidade	Ato de constituição	Municípios
Estação Ecológica Tupiniquins	Decreto federal nº 92.964 de 21 de julho de 1986	Peruíbe e Cananéia
Estação Ecológica de Chauás	Decreto estadual nº 26.719 de 06 de fevereiro de 1987	Iguape
Estação Ecológica Juréia-Itatins	Decreto estadual nº 24.646 de 20 de janeiro de 1986	Iguape, Peruíbe, Itariri e Miracatu
Parque Estadual da Campina do Encantado	Lei nº 8873, de 16 de agosto de 1994. Alteração de nome: Lei nº 10.316, de maio de 1999	Pariquera-Açú
Parque Estadual Dr. Carlos Botelho	19499/82 - Decreto Estadual nº 19499, de 10 de setembro de 1982	São Miguel Arcanjo, Tapiraí, Capão Bonito e Sete Barras
Parque Estadual da Ilha do Cardoso	40319/62 - Decreto Estadual nº 40319 de 1962	Cananéia
Parque Estadual Intervales	40135/95 - Decreto Estadual nº 40135 de 1995	Ribeirão Grande, Eldorado, Iporanga, Sete Barras e Guapiara
Parque Estadual de Jacupiranga	145/69 - Decreto lei estadual nº145 de 8 de agosto de 1969	Barra do Turvo, Cananéia, Jacupiranga, Eldorado, Cajati e Iporanga
Parque Estadual de Jurupará	D.E 35703/92 - D.E 35704/92	Ibiúna e Piedade
Parque Estadual da Serra do Mar	10251/77 - D.E. 10251 de 30 agosto de 1977	Juquitiba, Pedro de Toledo, Miracatu e Peruíbe
Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)	32283/58 - Decreto Estadual nº 32283 de 1958	Iporanga e Apiaí

- Unidades de Uso Sustentável: O objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

O grupo das Unidades de Uso Sustentável é composto pelas seguintes categorias:

- Área de Proteção Ambiental (APA);
- Floresta Nacional;
- Reserva Extrativista;
- Reserva de Fauna;
- Reserva de Desenvolvimento Sustentável;
- Reserva Particular do Patrimônio Natural

Área de Proteção Ambiental (APA): área geralmente extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. As condições para a realização de pesquisa científica e visitação pública nas áreas sob domínio público serão estabelecidas pelo órgão gestor da unidade. Cabe ao proprietário da área inserida na APA estabelecer as condições para a pesquisa e visitação pelo público, observadas as exigências e restrições legais. A APA disporá de um Conselho presidido pelo órgão responsável por sua administração e constituído por representantes dos órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e da população residente.

As Unidades de Uso Sustentável da UGRHI-11 estão na Tabela 3.3.6.

Tabela 3.3.6 - Unidades de Uso Sustentável no Vale do Ribeira e Litoral Sul

Unidade	Ato de constituição	Municípios
Área de Proteção Ambiental Cananéia-Iguape-Peruíbe	DF 90347 de 23/10/1984 DF91892 de 6/11/85	Peruíbe, Itariri, Miracatu, Iguape, Cananéia e Ilha Comprida
Área de Proteção Ambiental da Ilha Comprida	D.E 26881 de 11/março/87	Ilha Comprida
Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar	D.E. 22717 de 21/set/84	Pedro de Toledo, Miracatu, Juquiá, Tapiraí, Sete Barras, Eldorado, Iporanga, Juititaba, Capão Bonito, Ribeirão Grande e Barra do Turvo
Área de Interesse Ecológico Estadual da ZVS da Ilha Comprida	30817 DE nº 30817 de 1989	Ilha Comprida
ARIE da Ilha do Ameixal	5/nov/1985, DFnº91889	Peruíbe
ARIE das Ilhas Queimada Pequena e Queimada Grande	DF nº 91887 de 5/nov/85	Encontra-se dentro dos limites da EE Tupiniquins sob Jurisdição Federal

Os espaços especialmente protegidos no Vale do Ribeira e Litoral Sul estão na Tabela 3.3.7.

Tabela 3.3.7 - Espaços Territoriais Especialmente Protegidos no Vale do Ribeira e Litoral Sul

Unidade	Ato de constituição
Ilhas do Litoral Paulista	Resolução Secretaria Estado Cultura SC-8 de 24 de março de 1994
Maciço da Juréia	Portaria Federal nº 136 de 11/jul/1986
Serras do Mar e de Paranapiacaba	Resolução nº 40, de 6/junho/1985 do CONDEPHAAT

As unidades de conservação da UGRHI-11 podem ser espacialmente classificadas da seguinte maneira:

- i. Na faixa costeira: APA Cananéia-Iguape-Peruíbe (federal), Parque Estadual Ilha do Cardoso, Estação Ecológica Caiuás, Parque Estadual Pariquera-Abaixo e Estação Ecológica Juréia Itatins.
- ii. Na área serrana: Parque Estadual da Serra do Mar, Parque Estadual Juru-pará, APA da Serra do Mar (estadual), Parque Estadual Carlos Botelho, Parque Estadual Intervales, Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira e Parque Estadual Jacupiranga.

4 – Revisão Bibliográfica

4.1 - Cartografia Geotécnica

Dentre as diferentes características do ambiente que têm expressão espacial, um grupo se relaciona aos componentes do meio físico, ou seja, rochas, materiais inconsolidados, água, relevo, condições climáticas e suas relações. Através da cartografia, esses componentes do ambiente podem ser caracterizados e classificados, auxiliando decisões em escalas diversas e para diferentes fins. Esses dados do meio físico podem ser mapeados de maneira que seja elaborado um conjunto seqüencial de mapas e cartas cujo processo é chamado de mapeamento geotécnico, que fornece subsídio para obras civis (Geotecnia Clássica), para a solução de problemas ambientais (Geotecnia Ambiental) e para o planejamento territorial regional e urbano (ZUQUETTE, 2004).

Quanto aos métodos, atualmente os mais difundidos na cartografia geotécnica são os Métodos das Unidades Homogêneas, introduzido no Brasil em 1978 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e a metodologia de ZUQUETTE (1987), que usa a sobreposição de mapas.

4.2 - Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto (SR) é um grupo de técnicas para coleta de informações de um objeto e o seu entorno a partir de uma distância. Normalmente, essas informações são em forma de imagem, que necessitam ser processadas e interpretadas para posterior produção de informações úteis para agricultura, arqueologia, silvicultura, geografia, geologia, planejamento urbano e outros. Informações sobre o objeto em estudo são transmitidas ao observador através de energia eletromagnética, que é portadora da informação. Portanto, pode-se considerar que os dados de sensoriamento remoto são basicamente informações em

forma de ondas que precisam ser decodificadas para a posterior compreensão. Para detectar a energia eletromagnética que existe em um vasto leque de comprimentos de ondas e frequências, são necessários diferentes tipos de instrumentos, ou sensores (Lo, 1991).

Lillesand e Kiefer (1994) citam que SR é a ciência e arte de obter informações de um objeto, área ou fenômeno através de análises de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto investigado. Os dados coletados podem ter diferentes formatos, incluindo variação de ondas acústicas ou distribuição de energia eletromagnética. O sucesso na aplicação do sensoriamento remoto depende da integração de diferentes dados e análises. As etapas envolvidas no processo são: avaliação das possibilidades de resolver o problema com a utilização do sensoriamento remoto; identificação do sensor mais adequado para o estudo; identificação dos procedimentos para interpretação dos dados; e identificação da qualidade das informações coletadas. A interpretação de um único sensor não pode ser utilizada para todas as aplicações do sensoriamento remoto.

De acordo com Câmara & Medeiros (1998), o Sensoriamento Remoto é uma tecnologia espacial que permite a aquisição de informações sobre a superfície terrestre à distância, através da interpretação dos dados captados por sensores instalados em aeronaves ou satélites. O seu registro gráfico se dá através de diversos produtos: fotografias aéreas, imagens de satélite, imagens de radar e etc.

Através do uso do SR, se obtêm informações a respeito dos recursos naturais renováveis e não-renováveis, pela utilização de sensores colocados em aviões, satélites ou mesmo na superfície terrestre. Engloba, além de programas e equipamentos específicos, o conhecimento básico da radiação solar, atmosfera terrestre, solo, vegetação e água, que, em conjunto, formam o Sistema de Sensoriamento Remoto. Os sistemas podem ser classificados quanto à fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto, conforme ilustrado na Figura 59 (MOREIRA, 2003).

Figura 59. Tipos de sensores remotos (Moreira, 2003).

Os instrumentos utilizados para detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação quer seja na forma de imagem, na forma de gráfica ou de tabelas, são também conhecidos com sensores. Normalmente, as informações geradas a partir de sensoriamento remoto e mais utilizadas em trabalhos de geoprocessamento estão em forma de imagens de sistemas sensores utilizadas em nível suborbital (câmeras fotográficas acopladas em aviões), e em nível orbital (imageadores e câmeras de varredura de alta resolução - ambos acoplados em satélites, e Radio Detection And Ranging - RADAR) (MOREIRA, 2003).

4.3 – Sistema de Informações Geográficas - SIG

Um Sistema de Informações Geográficas é um sistema computadorizado, composto por um conjunto de ferramentas para manipulação de mapas e imagens digitais geograficamente localizadas. Possui capacidade funcional para fazer captura, entrada, manipulação, transformação, visualização, combinação, consulta, análise, modelagem e saída de dados (BONHAM-CARTER, 1994). A aplicação de SIG é bem variada: exploração

mineral, gestão de resíduos sólidos, auxílio na logística de malhas viárias, estudo de impactos ambientais, hidrogeologia e outros.

4.3.1 - Sistema de Informações Geográficas voltado à seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos

Vários autores citam a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na busca por locais adequados para a implantação de aterros sanitários. BROLLO (2001) utilizou um SIG para indicação de áreas aptas à implantação de aterros sanitários na região de Campinas (Estado de São Paulo), considerando o uso e ocupação do solo e a compartimentação fisiográfica dos terrenos. A autora cita que através do uso do SIG foi possível definir e selecionar locais, tanto devido às potencialidades ou fragilidades do terreno, quanto à necessidade de recursos (financeiros, humanos, tecnológicos) para a implantação da obra, considerando-se fatores como regularidade fundiária e distâncias entre agentes geradores de resíduos e áreas para disposição final.

KAO e LIN (1996) propuseram um modelo de compacidade integrado a um SIG para ser utilizado na indicação de áreas aptas à instalação de aterros sanitários em Yuanli, Taiwan. A compacidade, ou grau de compactação do solo, não tem relação direta com outros fatores envolvidos na busca por áreas aptas, mas influencia na decisão final. Além do modelo de compacidade, uma análise multi-critério foi realizada com fatores ambientais, sócio-culturais, econômicos e de engenharia. O programa utilizado neste trabalho foi o GRASS (desenvolvido pelo exército dos Estados Unidos da América - EUA). Os autores citam que a facilidade de armazenamento, processamento e interatividade com outras ferramentas, torna o uso de um SIG primordial para o êxito deste tipo de pesquisa.

SIDDIQUI *et al.* (1996) citam que a maioria dos resíduos sólidos gerados nos EUA é disposta em aterros sanitários. Para manter esta situação, novos aterros precisam ser abertos e os com vida útil já superada devem ser fechados. Porém, esta não é uma tarefa simples, órgãos governamentais e empresas particulares com orçamento limitado podem minimizar os esforços necessários para uma correta indicação de áreas para a construção de aterros. Essa pesquisa procurou mitigar estes problemas desenvolvendo um SIG e um Processo Analítico Hierárquico para uma seleção preliminar de áreas aptas para a cidade de Cleveland, Oklahoma. Os fatores utilizados na análise foram: declividade do terreno; profundidade de águas subterrâneas; geologia (textura e permeabilidade das rochas); uso do solo; pedologia; e distâncias de aeroportos, áreas urbanas e drenagens superficiais. Os fatores foram ponderados par a par, visando estabelecer, em ordem hierárquica, suas relativas importâncias.

Diferentes mapas de aptidão foram criados, utilizando diferentes esquemas de ponderações entre os fatores. Dessa forma, foram criados três diferentes cenários, cada um tendo um fator diferente com maior ponderação. Assim, foram criados três cenários. Para o cenário em que o maior peso foi atribuído ao fator solo, a distribuição espacial das áreas foi difusa, exceto próximo a drenagens. Ao atribuir-se maior peso ao fator distância das áreas geradoras de resíduos, seguido por pedologia e uso do solo, respectivamente, as áreas com maior aptidão concentraram-se ao redor de centros urbanos, principalmente à cidade de Norman, a mais populosa do estudo. Áreas agrícolas foram as mais aptas quando atribuído maior peso ao fator uso do solo.

Comparando-se os mapas de aptidão resultantes dos três sistemas de ponderação, os pesquisadores encontraram três áreas que apresentaram alta aptidão nos três cenários descritos. Os autores concluem que um SIG pode ser utilizado, com ótimos resultados, para o cálculo de área mínima e indicação de áreas aptas à instalação de aterros sanitários.

DELGADO *et al.* (2007) compararam métodos baseados no uso de SIG e Análises Multi-critérios, com o objetivo de encontrar áreas que obedecessem normas ambientais e que pudessem ser utilizadas de forma intermunicipal para a construção de aterros sanitários na bacia do Lago Cuitzeo (México). Dados biofísicos e sócio-econômicos foram processados em um SIG. Três modelos de análise espacial foram aplicados, Lógica Booleana, Modelo de Evidência Binária (semelhante à Lógica Booleana, porém com atribuições de pesos aos fatores envolvidos) e Índice de Sobreposição de Mapas. Realizadas as análises, o critério de intermunicipalidade foi integrado ao sistema e utilizado para reclassificar os três mapas de suscetibilidade. A distância máxima aceitável entre as áreas urbanas e as áreas aptas à construção de aterros sanitários, foi 15km. A Lógica Booleana estimou que apenas 5,8% da área de estudo são aptas à construção de aterros sanitários. O Modelo de Evidências Binárias resultou em 45,1% de áreas aptas. O Modelo de Sobreposição de Mapas estimou 27,6% das áreas como aptas. Por ser mais restritiva, a Lógica Booleana foi preferida pelos autores para trabalhos de planejamento urbano. Os autores citam que o uso do SIG reduziu tanto a margem de erro quanto o tempo necessário para as análises das variáveis, assim, reduzindo o custo do processo de seleção.

CALIJURI *et al.* (2007), desenvolveram diferentes cenários para o equacionamento da disposição de resíduos sólidos gerados nos municípios de Cajati, Jacupiranga e Pariqueira-Açu, através da Combinação Linear Ponderada e Média Ponderada Ordenada, no programa IDRISI 15.0 (Versão Andes). Os critérios estabelecidos para a análise foram: cobertura vegetal; geologia; pedologia; declividade; e distâncias de rede hidrográfica, áreas urbanas, sistema viário, Estação de Tratamento de Esgotos (ETE's), áreas de mineração e falhas e fraturas geológicas. A aplicação do método de Média Ponderada Ordenada permitiu o estabelecimento de cenários com variação de compensação entre os fatores e de risco da análise. Foram identificados cinco cenários, buscando-se explorar a compensação entre os

fatores. Todos três municípios apresentaram áreas aptas à instalação de aterros sanitários. Os autores citam que a metodologia Multi-Critério mostrou-se adequada à seleção preliminar de locais para a disposição final de resíduos sólidos. Os cinco cenários definidos apresentaram resultados satisfatórios e coerentes com a realidade.

ZAMORANO *et al.* (2008), desenvolveram um SIG para avaliar a localização de um aterro sanitário na cidade de Granada (sul da Espanha). O método foi baseado na ferramenta EVIAVE (desenvolvido na Universidade de Granada), utilizado para avaliar a adequabilidade de locais para a construção de aterros sanitários e monitorar a sua operação, considerando alguns fatores ambientais (hidrografia superficial e subterrânea, qualidade do ar, pedologia e saúde humana). Os índices finais de suscetibilidade proveram tanto informações referentes à aptidão de áreas quanto a potenciais problemas que podem afetar um ou mais componentes ambientais. Concluiu-se que o aterro sanitário de Granada está localizado em uma área ambientalmente adequada.

Yang *et al.* (2008), utilizaram um SIG para avaliar cinco aterros de resíduos sólidos urbanos, localizados na área metropolitana da província de Jiangsu (China), em relação ao potencial perigo à saúde humana e ao meio ambiente. Na área de estudo existem oitenta aterros sanitários, que foram registrados e classificados. Deste total foram selecionados aleatoriamente cinco aterros para avaliação. O módulo “Análise Espacial” do programa ArcGIS 9.0 foi utilizado para as análises multi-critérios. Os fatores utilizados nas análises foram: pedologia; uso do solo; cobertura vegetal; declividade; e distância de drenagens superficiais, áreas urbanas, malha viária, aeroportos e unidades de conservação. As áreas dos aterros participantes do estudo foram comparadas com as do mapa de aptidão, resultante das análises. Quatro dos cinco aterros investigados estão localizados em áreas inadequadas, principalmente pela proximidade de drenagens superficiais. Os autores citam que a utilização

de um SIG pode facilitar o monitoramento de aterros sanitários já existentes e indicar locais potencialmente adequados para a construção de novos aterros na província de Jiangsu.

4.3.2 - Sistema de Informações Geográficas voltado à coleta e transporte de resíduos sólidos

Um dos aspectos mais importantes na gestão eficiente dos problemas que envolvem a circulação de veículos em redes urbanas está na capacidade de obtenção de circuitos otimizados. Para tal fim, é necessária a obtenção de uma configuração ótima de um conjunto de circuitos, de forma que sejam minimizados os custos envolvidos na execução de todas as tarefas.

Santos & Rodrigues (2003) citam que a utilização de um Sistema de Informações Geográficas no estudo do transporte de resíduos sólidos urbanos na rede urbana de Coimbra (Portugal), propiciou a visualização sobre a rede digitalizada dos circuitos obtidos num ambiente próximo do real, auxiliando na organização do sistema de coleta de resíduos sólidos em praças, cruzamentos de avenidas, ruas de um ou dois sentidos.

Na mesma linha de pesquisa, GHOSE *et al.* (2005) utilizaram um modelo de SIG para reduzir a relação custo/distância no transporte de resíduos sólidos das fontes geradoras a um aterro sanitário em West Bengal State (Índia). O modelo utilizou diferentes parâmetros, tais como densidade populacional, geração de resíduos, rede viária e os veículos necessários para a coleta. Os autores citam que o modelo proposto foi utilizado com sucesso na logística envolvida, principalmente na administração de custos com combustíveis, manutenção dos veículos e programação das coletas.

5 – Técnicas de Análise em Geoprocessamento

5.1 - Modelo Numérico de Terreno e Mapa de declividade

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informações geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT (FELGUEIRAS & CAMARA, 2008).

Dentre alguns usos do MNT pode-se citar (BURROUGH, 1986 apud FELGUEIRAS & CAMARA, 2008):

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Os modelos digitais de terreno são classificados em *grade regular retangular* e modelos de *grade (malha) irregular triangular*.

A grade regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas localizações (eixo X e eixo Y) que definem a grade desejada. Uma vez definida a resolução e conseqüentemente as coordenadas de cada ponto da grade, pode-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da elevação.

Uma malha triangular é conjunto de poliedros cujas faces são triângulos. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as descontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície. Diferentemente da geração de grade regular, os valores de cota dos vértices dos elementos triangulares da malha triangular não precisam ser estimados por interpolações. As diferenças entre os modelos de grade regular retangular e grade irregular triangular estão na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Grade Regular Retangular X Grade Irregular Triangular (FELGUEIRAS & CAMARA, 2008).

<i>Grade Regular Retangular</i>	<i>Grade Irregular Triangular</i>
Apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Não apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos retângulos são estimados a partir das amostras	Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral
Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas	Representa melhor superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas
Estrutura de dados mais simples	Estrutura de dados mais complexa
Relações topológicas entre os retângulos são explícitas	É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos
Mais utilizado em aplicações qualitativas e para análises multiníveis no formato “raster”	Mais utilizado em aplicações quantitativas.

Na pesquisa aqui relatada, a amostra utilizada para gerar o MNT da área da UGRHI-11 foi representada pelas curvas de nível das cartas topográficas na escala de 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), digitalizadas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC) e incorporadas no SIG-RB.

A superfície da UGRHI-11 foi elaborada a partir de um modelo digital no Programa ArcMap (versão 9.2). Não foi possível realizar esta operação no Programa Idrisi Andes (versão 15.0) porque este não conseguiu processar o arquivo de curvas de isovalores (topográficas) utilizado como base, em virtude do grande número de linhas (57.597).

Como pode ser visto na Tabela 5.1, o modelo de Grade Irregular Triangular é mais funcional e usual para aplicações quantitativas. Uma destas aplicações é gerar, a partir do MNT, um mapa de declividade. Como o mapa de declividade foi um dos principais fatores utilizados nesta pesquisa por indicação por áreas para construção de aterros sanitários, o modelo utilizado foi a Grade Irregular Triangular, Figura 60.

A ferramenta *slope* (módulo *Raster Surface*, extensão *3D Analyst ToolsI*) do Programa ArcMap (versão 9.2), foi utilizada para gerar o mapa de declividade (em graus) a partir do MNT, Figura 61.

Figura 60 - Modelo Numérico de Terreno

Mapa de Declividade do Vale do Ribeira de Iguape e Litoral Sul

93

Figura 61. Mapa de declividade

5.2 - Avaliação por Critérios Múltiplos

As decisões podem ser caracterizadas com um ou múltiplos objetivos e baseadas em um ou múltiplos critérios. A maioria dos problemas abordados em um SIG é multi-critério. Por exemplo, o objetivo desta pesquisa é indicar áreas aptas à construção de aterros sanitários, utilizando os seguintes critérios: distância de drenagens, de área urbana, de principais rodovias e de Unidades de Conservação; declividade do terreno; geologia; pedologia; e cobertura vegetal. O principal problema neste tipo de avaliação multi-critério está em como combinar as informações destes critérios para formar um único índice de avaliação, o mapa com as áreas aptas.

Os critérios são classificados em dois tipos: restrições ou fatores. As restrições têm sempre um caráter booleano (com valores dicotômicos – 0 ou 1, sim ou não) e servem para excluir determinadas áreas. As principais operações booleanas são as operações AND e OR. Na operação AND, os diferentes critérios são combinados produzindo uma imagem binária final, onde o valor 1 indica que a área satisfaz todas as condições propostas, e o valor “0” (zero), que a área não satisfaz uma ou mais condições. Na operação OR, os diferentes critérios são combinados e na imagem binária final, o valor 1 indica que a área satisfaz pelo menos uma das condições, e o valor “0”, que a área não satisfaz nenhuma das condições exigidas. A simplicidade do método booleano é um aspecto positivo, entretanto este método não permite uma ponderação de importância entre os critérios, portanto exhibe resultados rígidos. Pelo fato de apresentar somente resultados ZERO ou UM, não exprime a variação de aptidão que existe nas classes determinadas como aptas.

Por outro lado, os fatores são, geralmente, de natureza contínua (mapa de declividade, de proximidade a estradas, etc.) e quando combinados resultam num mapa que exprime a variação de aptidão que existe nas classes determinadas como inaptas até as aptas. Fatores e

restrições podem ser combinados em análises que permitem total controle do usuário de como deve ser esta combinação e qual o risco deve-se assumir.

Praticamente todos os programas de SIG têm ferramentas para este tipo de avaliação. No Idrisi, um módulo chamado MCE (Multi-Criteria Evaluation – Avaliação Multi-Critério) foi desenvolvido para facilitar este processo. O módulo MCE também oferece uma ferramenta especial chamada Ordered Weighted Average – OWA (Média Ponderada Ordenada), que aumenta as opções de análises de decisão (Eastman, 2006).

Os critérios utilizados neste estudo foram combinados, em forma de imagem, através da Combinação Linear Ponderada e Média Ponderada Ordenada. Porém, antes deste processo, os fatores tiveram seus valores reescalados para um intervalo numérico comum, ou seja, foram padronizados.

5.3 - Padronização dos critérios

Devido às diferenças tanto quantitativas quanto qualitativas que há entre os critérios utilizados em uma avaliação, é necessário que se faça uma padronização para que estes possam ser perfeitamente correlacionados. Por exemplo, seria impossível combinar um mapa de distância de drenagens superficiais, quantitativo (unidade de medida em Quilômetros ou metros) com um mapa de Vegetação, que é qualitativo, porque estes fatores não são correlacionáveis.

No Idrisi, o módulo FUZZY é responsável pela padronização dos fatores. Este módulo fornece as opções de padronização dos fatores tanto para uma escala de números reais, zero e um, quanto para uma escala em bytes, zero e 255. Está última opção é a recomendada para o Idrisi porque o módulo MCE foi projetado para processamentos mais rápidos em bytes

5.3.2 – Fator distância das principais vias (malha viária).

Com o auxílio do módulo *distance* do programa IDRISI, foram calculadas as distâncias mínimas de todos os pontos às rodovias da UGRHI-11. Estas distâncias foram re-escaladas em uma função linear simétrica de forma que, a partir da malha viária, distâncias até 200 metros receberam índice de aptidão mínimo (zero); distâncias entre 200 e 500 metros, receberam aptidão máxima (255), e distâncias superiores a 500 metros tiveram a aptidão reduzida proporcionalmente ao aumento da distância, Figura 63.

Figura 63. Distância Mínima da rede viária - 200 metros.

5.3.3 – Fator Vegetação.

O arquivo em formato *shape* referente à cobertura vegetal da UGRHI-11 foi retirado do SIG-RB. A vegetação é classificada em Campo, Capoeira, Mangue, Mata, Restinga e Várzea. Estas classes foram ponderadas (capítulo 5.4 - Ponderação dos critérios) entre os valores zero e oito, menores valores representam que o local é menos apto para construir um

aterro sanitário, em virtude do tipo de cobertura vegetal presente. Assim, várzea, restinga e mangue receberam o peso zero; mata, peso um; campo, peso cinco; e capoeira, peso oito. Esse vetor foi rasterizado, gerando uma imagem contínua entre zero e oito, que foi padronizada para o formato byte em uma função linear crescente.

5.3.4 – Fator Solos.

Inicialmente, o mapa de solos da UGRHI-11 (Lepsch *et al.*, 1999), foi digitalizado com a utilização da extensão ArcScan do Programa ArcMap para posterior atribuição do banco de dados deste mapa neste mesmo programa. Para classificar as classes de solo quanto à aptidão para instalação de aterros sanitários foi necessário realizar uma combinação entre granulometria, profundidade da zona não-saturada, potencial hidrogeniônico (pH) e capacidade de troca catiônica (CTC), baseando-se em Araújo (1999). Estes critérios foram, em uma primeira etapa, padronizados com a utilização da função linear crescente e combinados resultando no mapa final de aptidão dos solos.

- i. **Granulometria.** O ideal são solos argilosos que, por terem menor permeabilidade e porosidade, dificultam o carreamento de poluentes (chorume) para níveis inferiores, dificultando o comprometimento de aquíferos subterrâneos. Porém, deve-se ter cuidado, porque solos muito argilosos tendem a formar fissuras, o que facilita o carreamento de poluentes. Por outro lado, solos arenosos também facilitam este carreamento. Assim, quanto à granulometria, as classes de solos foram ponderadas (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Granulometria das classes de solos.

Teor de argila + silte	Interpretação	PESO
$\leq 15\%$	Textura Arenosa	0
15 - 35%	Textura Média	102
35- 60%	Textura Argilosa	255
$\geq 60\%$	Textura Muito Argilosa	178

- ii. **Profundidade da zona não-saturada.** A NBR 13.896 (ABNT, 1997), indica uma zona não-saturada superior a 3,0 metros. Porém, pode-se ver em Oliveira (1999) que a maioria dos solos que compõem a região da UGRHI-11 não atinge tal profundidade. Dessa forma, as profundidades foram ponderadas, conforme a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Profundidade da zona não-saturada.

Profundidade (centímetros)	Peso	Profundidade (centímetros)	Peso
20	15	200	150
120	30	240	180
140	105	250	188
150	113	260	195
160	120	270	203
170	128	300	225
195	146	340	255

- iii. **Potencial hidrogeniônico (pH).** Os mecanismos de interação solo/metais pesados, produzidos a partir da disposição de resíduos, são dependentes do pH da solução de solo. Para valores elevados, os mecanismos de precipitação prevalecem, quando os valores decrescem, a precipitação torna-se menos importante e a capacidade de troca catiônica passa a ser o mecanismo dominante. Em geral, há um aumento na capacidade de retenção com o aumento do pH. Segundo BORMA *et al.* (1996 *apud* ARAÚJO, 1999), quando o pH do solo é maior do que 4, os metais pesados podem ficar retidos sob forma trocável, formando novos hidróxidos ou ainda ligados aos

óxidos e carbonatos existentes, o que resulta na retenção de grande quantidade de metais. Quando o pH diminui a valores menores que 4, somente a retenção sob forma de cátions trocáveis predomina, resultando em baixa retenção de metais. A ponderação das classes de solos em relação ao pH está na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Ponderação do pH.

pH	Adequabilidade	PESO
< 4.6	Muito baixa	51
4.7 - 5.0	Baixa	102
5.1 - 5.3	Média	153
5.4 - 5.5	Alta	204
>5.5	Muito Alta	255

- iv. Capacidade de troca catiônica (CTC).** Reflete a capacidade do solo de reter poluentes orgânicos, íons, bactérias, vírus, microorganismos e íons pouco móveis. A partir deste dado é possível conhecer o tipo de argilo-mineral do solo, uma vez que este parâmetro está ligado diretamente à porção argilosa do mineral. A ponderação das classes de solos em relação à CTC está na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Ponderação da CTC.

CTC	Adequabilidade	PESO
< 3.6	Muito baixa	51
3.7 - 3.9	Baixa	102
4.0 - 5.8	Média	153
5.9 - 6.6	Alta	204
6.7 - 7.0	Muito Alta	255
> 7.0	Inadequada	0

5.3.5 – Fator distância das Zonas de Cisalhamento e diques.

Com o auxílio do módulo *distance* do programa IDRISI, foram calculadas as distâncias a partir das estruturas geológicas e dos diques, retirados do Sistema de Informações Geográficas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006). Estas distâncias foram re-escaladas em uma função linear crescente de forma que, a partir destas estruturas, distâncias até 200 metros receberam índice de aptidão mínimo (zero); distâncias superiores a 200 metros tiveram a aptidão crescente de forma proporcional ao aumento da distância. Os mapas com as distâncias mínimas para diques e zonas de cisalhamento podem ser vistos nas Figura 64 e Figura 65, respectivamente.

FUZZY - Diques: Distância mínima de 200m

Figura 64. Distância mínima de 200 metros de diques.

FUZZY - Estruturas Geológicas: Distância mínima de 200m

Figura 65. Distância mínima de zonas de cisalhamento de 200 metros.

5.3.6 – Fator geologia.

A maior parte da água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra (diretamente ou indiretamente) na superfície do solo. Como consequência, as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A poluição dos aquíferos ocorre nos pontos em que a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela ação humana (provenientes de atividades urbanas, industriais, agrícolas e de mineração) é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura. Os mecanismos de recarga da água subterrânea e a capacidade natural de atenuação do contaminante no solo e no subsolo variam amplamente segundo as condições geológicas próximas à superfície (FOSTER *et al.*, 2006).

A suscetibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogênica é definida como vulnerabilidade. Uma definição mais consistente de vulnerabilidade do aquífero é, um conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada a superfície (FOSTER, 2006 *apud* FOSTER, 1987).

O índice de vulnerabilidade GOD é utilizado para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos à contaminação e considera dois fatores básicos:

- O confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão;
- Os estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante;
- A profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices desses parâmetros (Figura 66).

Com o uso deste sistema, as classes geológicas da UGRHI-11 foram classificadas de acordo com as especificações dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero em termos de grau de consolidação e tipo de litologia. Conforme o método, primeiramente, foram atribuídos valores entre 0,4 e 1,0 para todas as classes geológicas. Posteriormente, foi aplicado a função linear crescente para re-escalamento destes valores para o formato de byte (0-255).

Figura 66. Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

5.4 - Ponderação dos critérios

Normalmente, há diferentes critérios que contribuem na tomada de decisão de quais são as áreas aptas à construção de aterros sanitários, e é extremamente necessário determinar a contribuição relativa de cada um. Por isso, antes de se realizar a Combinação Linear Ponderada, os fatores envolvidos foram ponderados no módulo Weight do Idrisi 15.0. Esta técnica de comparação é denominada Analytical Hierarchy Process – AHP (Processo Analítico Hierárquico), proposta por Thomas Saaty, baseia-se na lógica de comparação pareada (Saaty, 1990).

Nível de Compensação é o grau em que um fator pode compensar outro. A maneira que funciona este processo é controlada por um conjunto de fatores ponderados. São atribuídos pesos a todos os fatores, de forma que a soma de todos deve ser igual a 1. Estes pesos indicam a relativa importância de cada fator para o objetivo em estudo, neste caso na busca por áreas aptas à construção de aterros sanitários. Um fator com um alto peso, ou seja, alta adequação numa determinada área, pode compensar a baixa adequabilidade de outros fatores com pesos menores, nesta mesma área (EASTMAN, 2006).

Neste estudo, o processo de ponderação foi iniciado com uma hierarquização dos critérios, do menos para o mais influente no resultado final. Então, no módulo Weight, os critérios foram colocados em uma matriz e todas as possíveis comparações par a par foram realizadas, de forma que todos os fatores foram comparados entre si, o que resultou na determinação de todos os pesos.

A Tabela 5.6 representa a análise pareada entre os fatores considerados.

	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
	Pouco importante							Muito Importante		
	Fator dist. de áreas urbanas	Fator dist. das principais vias	Fat. vegetação	Fat. Pedologia	Fator dist. de estrut. geológicas	Fator dist. de Diques	Fat. Geologia	Fat. Declividade	Fat. dist. de Hidrografia	
Fator distância de áreas urbanas	1									
Fator distância das principais vias	1	1								
Fator vegetação	2	2	1							
Fator Pedologia	2	2	1	1						
Fator distância de estruturas geológicas	3	3	2	2	1					
Fator distância de Diques	3	3	2	2	1	1				
Fator Geologia	3	3	2	2	1	1	1			
Fator Declividade	4	4	3	3	2	2	2	1		
Fator distância da Hidrografia	5	5	4	4	3	3	3	2	1	

Autovalores dos Pesos

Fator distância de áreas urbanas: 0.0318

Fator distância das principais vias: 0.0318

Fator vegetação: 0.0507

Fator Pedologia: 0.0507

Fator distância de estruturas geológicas: 0.0856

Fator distância de diques: 0.0856

Fator geologia: 0.0856

Fator declividade: 0.1413

Fator distância de hidrografia: 0.2185

Índice de consistência = 0.01

Consistência é aceitável

Tabela 5.6 - Processo de ponderação dos fatores no módulo WEIGHT do Programa Irsi 15.0.

5.5 - Análise por Combinação Linear Ponderada (CLP)

O método é caracterizado pela multiplicação de cada mapa (critério) padronizado (módulo FUZZY) pelo seu peso (módulo WEIGHT) para, então, todos os resultados serem somados. Todos os critérios devem estar padronizados numa escala em byte (0-255), o mapa de aptidão resultante será apresentado neste mesmo intervalo (Eastman, 2006).

Os pesos indicam a importância de cada critério em relação aos demais e controlam como os fatores irão compensar-se, ou seja, fatores com alta aptidão em um determinado local irão compensar outros fatores com baixa aptidão no mesmo local.

Este processo é caracterizado pela combinação com nível médio de risco, uma vez que está exatamente entre o processo de minimização (operação AND) e a maximização de risco (operação OR) para indicação de áreas adequadas no resultado final (Eastman, 2006). No Idrisi 15.0, a função Combinação Linear Ponderada está inserida no módulo Multi-Criteria Evaluation. A janela do O mapa resultante da CLP está na Figura 67.

Combinação Linear Ponderada (WLC) - Áreas aptas à construção de aterros sanitários

110

Figura 69. Mapa resultante de Combinação Linear Ponderada.

5.6 - Média Ponderada Ordenada (MPO)

Segundo Eastman (2006), operacionalmente, a Média Ponderada Ordenada não é diferente da Combinação Linear Ponderada, os fatores envolvidos na análise precisam estar padronizados em uma escala contínua de suscetibilidade e ponderados de acordo com a sua relativa importância. Na Média Ponderada Ordenada, há total controle do nível de compensação entre os fatores e do risco da análise. Este controle é possível através de um segundo conjunto de pesos ordenados, que controla o nível de compensação, ou seja, a influência que, pixel a pixel, cada fator ponderado tem na imagem final.

O risco da análise pode ser alto ou baixo. Numa análise de baixo risco há uma minimização das áreas aptas porque estas devem ser de alta aptidão para todos os fatores envolvidos. Em uma análise de alto risco, o número de áreas aptas é maximizado, porque uma área é considerada de alta aptidão desde que satisfaça os requisitos de pelo menos um fator.

Pelo fato dos pesos ordenados serem aplicados aos fatores de acordo com a classificação resultante do processo de ponderação, haverá o mesmo número de pesos ordenados e de fatores. A soma de todos os pesos ordenados deve ser “um” e quando este valor é atribuído ao fator de menor influência no processo anterior de ponderação (módulo WEIGHT), há uma tendência para que a solução da análise tenha um baixo risco (lógica AND), neste caso cada fator é considerado fundamental (mas não suficiente por si próprio) no resultado final.

Quando o valor total dos pesos é atribuído ao fator de maior influência no processo anterior de ponderação, há uma tendência para que a solução da análise tenha um alto risco (lógica OR) e cada critério é suficiente por si próprio para moldar o resultado final, sem sofrer influência dos outros critérios. Ambos os casos são relacionados ao conjunto Fuzzy.

Uma distribuição uniforme do peso total entre os fatores irá produzir um resultado entre as lógicas “AND” e “OR”, como na Combinação Linear Ponderada (uma solução de risco intermediário). Diferentes maneiras de distribuir o valor total dos pesos entre os fatores resultam em soluções com diferentes níveis de risco.

Em análises que envolvam fatores relacionados à economia ou comércio, pode haver total compensação entre fatores, como na Combinação Linear Ponderada, pois quando o objetivo final está relacionado a custos, é importante que um fator com pequena influência na análise final seja compensado por outro de alta influência. Porém, fatores relacionados a estudos ambientais não são facilmente compensados. Focar a busca por áreas aptas para aterros sanitários próximo a áreas urbanas para diminuir custos de logística não compensa o risco de, por exemplo, contaminação de uma drenagem por não se respeitar a distância mínima indicada nas normas técnicas. Por isso, nestes casos, é aconselhável trabalhar com baixo risco na análise (lógica AND), o que foi feito neste trabalho. O valor total dos pesos ordenados foi atribuído ao mapa padronizado e ponderado relativo à distância das áreas urbanas da UGRHI-11, que, como pode ser visualizado na Tabela 5.6, é o de menor influência na análise. O resultado da MPO pode ser visualizado na Figura 68.

Média Ponderada Ordenada (OWA) - Áreas aptas à construção de aterros sanitários

113

Figura 70. Mapa resultante de Média Ponderada Ordenada.

Foi realizado uma viagem de campo para validar os resultados da MPO, entre os 12 e 16 de maio de 2008. As áreas analisadas estão nos municípios de Registro, Barra do Turvo, Iguape e Pariquera-Açu. Estas visitas confirmaram o método empregado. Por exemplo, a área escolhida no município de Pariquera-Açu (Lat. 24°42'8", long. 47°58'23") apresenta vegetação de pequeno porte (Figura 71), declividade adequada (Figura 72) e, em relação à distância de drenagens superficiais, está de acordo com as normas técnicas.

Figura 71. Vegetação de pequeno porte.

Figura 72. Declividade favorável.

5.7 – Área mínima necessária para aterros sanitários

A Norma NBR-13.896 (ABNT, 1997) indica que para um local ser classificado como apto, deve ter uma área total que proporcione uma vida útil de, no mínimo, 10 anos ao aterro. Dessa forma, foi necessário fazer projeções da produção diária de RSU para os vinte e três municípios, para o ano 2020.

Estas projeções foram baseadas em dados demográficos da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) e na produção diária de RSU dos 23 municípios da UGRHI-11, retirada do Inventário Estadual de Resíduos Domiciliares (CETESB, 2006). Assim, foi calculada a produção diária média de RSU por habitante, para cada município.

Baseando-se no cálculo teórico referente às dimensões da célula de lixo utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/CEMPRE, 2000), obtiveram-se os valores de área mínima para construir aterro sanitário, para todos os municípios da UGRHI-11. O cálculo utilizado pelo IPT está na Figura 73.

<p align="center">DIMENSÕES DA CÉLULA DIÁRIA DE LIXO (Cálculo Teórico)</p> <p align="center">As dimensões da célula de lixo podem ser estimadas pelas seguintes fórmulas:</p> $h = \sqrt[3]{\frac{V}{p^2}} \quad l = b = \sqrt[2]{\frac{V}{h}} = \sqrt[3]{p \cdot V} \quad A = b^2 + 2bhp$ <p>sendo:</p> <p>h = altura da célula (m);</p> <p>V = volume de resíduos da célula (m³), igual à geração de lixo (t/dia) dividida pela densidade do lixo compactado (com valores médios de γ em torno de 0,7 t/m³);</p> <p>p = talude da rampa de trabalho (p=3);</p> <p>l = profundidade da célula (m);</p> <p>b = frente de operação (m);</p> <p>A = área a ser coberta com terra (m²).</p>								
Exemplo de Cálculo								
	Quantidade de lixo gerada (t/dia)							
	5,0	10,0	20,0	40,0	80,0	100,0	200,0	300,0
γ (t/m³)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
p	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
V (m³/dia)	7,1	14,3	28,6	57,1	114,3	142,9	285,7	428,6
h (m)	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,5	3,2	3,6
b = l (m)	2,8	3,5	4,4	5,6	7,0	7,5	9,5	10,9
A (m²/dia)	23,1	36,7	58,3	92,6	147,0	170,5	270,7	354,7

Figura 73 – Dimensões da célula diária de lixo (IPT/CEMPRE, 2000).

Os resultados estão na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Cálculo de área mínima para aterro sanitário.

Município	Produção (Kg/dia) 2020	Área (m²/dia)	Área (m²/ano)	Área (m²/2020)
Apiáí	8.171	29.99	10.946	120.407
Barra do Chapéu	672	3.10	1.133	12.464
Barra do Turvo	1.616	7.46	2.725	29.971
Cajati	12.098	35.27	12.872	141.589
Cananéia	6.226	22.85	8.340	91.742
Eldorado	3.173	14.66	5.351	58.859
Iguape	10.144	29.57	10.793	118.722
Ilha Comprida	7.485	27.47	10.026	110.287
Iporanga	872	4.03	1.470	16.175
Itaóca	753	3.48	1.270	13.975
Itapirapuã Paulista	811	3.75	1.368	15.048
Itariri	4.068	18.80	6.860	75.463
Jacupiranga	5.240	19.23	7.019	77.212
Juquiá	6.853	25.15	9.180	100.979
Juquitiba	12.224	35.63	13.006	143.069
Miracatu	6.011	22.06	8.052	88.571
Pariquera-Açu	7.331	26.91	9.821	108.028
Pedro de Toledo	3.288	15.19	5.544	60.983
Registro	20.866	48.30	17.631	193.940
Ribeira	377	1.74	636	6.996
São Lourenço da Serra	10.062	29.33	10.706	117.764
Sete Barras	2.276	10.51	3.838	42.214
Tapiraí	4.682	21.63	7.895	86.847

5.8 - Análise das condições de transporte, visando à minimização do número de aterros

Em relação ao transporte dos resíduos sólidos, foi realizada uma análise de rede, com ênfase às menores rotas com origem nas áreas centrais dos municípios e fim nas áreas classificadas como aptas para a disposição final, através da Média Ordenada Ponderada (MPO), para o estudo de viabilidade de construção de aterros coletivos a dois ou mais municípios próximos.

A busca do “menor caminho”, definida como o melhor (*ou mais curto, mais rápido, mais barato*) trajeto entre dois pontos, é uma das formas tradicionais de se otimizar um sistema de redes (Dijkstra, 1984). Uma rede é uma representação gráfica baseada em feições lineares - arcos - aos quais se associam valores, que podem representar distâncias, custos, tempo, ganhos, despesas ou outros atributos que se acumulem linearmente ao longo do percurso da rede. A soma desses valores entre a origem e o destino pode, então, ser minimizada.

Esse procedimento foi executado no módulo “área de serviço” da extensão “Network” do programa ArcMap (versão 9.2). Este módulo permite fazer uma busca por determinadas áreas (destino) a partir de um local específico (origem), baseando-se na malha viária. A área de serviço engloba os vetores de uma malha viária na qual, a partir de determinada distância, cria-se um raio de busca (polígono) ao redor da origem (ESRI, 2006).

Neste estudo, as áreas classificadas como aptas na MPO, foram atribuídas como origens e as áreas urbanas, como destinos. O motivo deste aparente engano é explicado da seguinte maneira, quanto maior a área apta tanto maior é a quantidade de resíduos sólidos que ela pode receber, ou seja, maior número de habitantes ela pode servir. Em virtude da grande variedade de áreas resultantes da MPO, foram geradas áreas de serviço com diferentes raios de busca, maiores raios para as maiores áreas, porque o maior objetivo desta análise foi que mais de uma área urbana estivesse dentro da área de serviço de uma área apta, para esta, então, poder atender a mais de um município.

A imagem resultante da MPO foi vetorizada, o que gerou um arquivo em formato *shape* (shp) com 23.481 polígonos, que foram classificados de acordo com as suas áreas e convertidos em arquivos *shape* de pontos, que continham em suas tabelas de atributos as áreas de cada polígono. Assim, iniciou-se a análise de rede para aterros que atendessem até 10.000

habitantes, até 30.000 habitantes, até 50.000 habitantes, e mais de 50.000 habitantes, em todos os casos, independente deste montante ser relativo à população de um ou mais município.

Baseando-se na média diária da produção de resíduos sólidos urbanos por habitante na UGRHI-11 e no cálculo de dimensionamento de um aterro, foram realizadas operações de análise de rede para quatro diferentes tamanhos de aterros (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 – Raios de busca para as áreas de serviço.

Aterro para atender:	Raio de busca
Até 10.000 habitantes	10km
Até 30.000 habitantes	15km
Até 50.000 habitantes	25km
Mais de 50.000 habitantes	50km

As áreas resultantes da análise por MPO aptas a construção de aterros sanitários com tamanho adequado para receber resíduos provenientes de até 10.000 pessoas foram plotadas inicialmente num mapa geral (Figura 74), depois dividido em cartas mais detalhadas. O mapa da Figura 75 detalha as áreas para os municípios de Apiaí e Itaóca, o da Figura 76 para Barra do Chapéu e Itapirapuã Paulista e o da Figura 77 para Barra do Turvo e Iporanga. Nesta análise de rede, com busca de 10.000 metros, não foram encontradas áreas que atendam mais de um município.

**Áreas aptas resultantes da Média Ponderada Ordenada,
para aterros que atendam até 10.000 pessoas.**

119

Figura 74. Áreas aptas resultantes da MPO, para aterros que atendam até 10.000 pessoas.

Figura 75. Áreas de aterros para atender até 10.000 pessoas - municípios de Apiaí e Itaóca.

Análise de rede para aterros que atendam até 10.000 pessoas para os municípios de Barra do Chapéu e Itapirapuã Paulista

121

Figura 76. Áreas para aterros que atendam até 10.000 pessoas - municípios de Barra do Chapéu e Itapirapuã Paulista.

Análise de rede para aterros que atendam até 10.000 pessoas
para os municípios de Iporanga e Barra do Turvo.

122

Figura 77. Áreas para aterro que atendam até 10.000 pessoas - municípios de Barra do Turvo e Iporanga.

De maneira análoga, as áreas, resultantes da análise por MPO, aptas a construção de aterros sanitários com tamanho adequado para receber resíduos provenientes de até 30.000 pessoas foram plotadas inicialmente num mapa geral (Figura 78), depois dividido em cartas mais detalhadas. Os mapas mostram as áreas adequadas para atender mais de um município nos seguintes casos: Barra do Chapéu e Apiaí (Figura 79); Juquiá e Miracatu (Figura 80); Miracatu e Pedro de Toledo (Figura 81); Pedro de Toledo e Itariri (Figura 81); Registro e Sete Barras (Figura 82); Registro e Pariquera-Açu (Figura 83); Pariquera-Açu e Jacupiranga (Figura 83); e Jacupiranga e Cajati (Figura 83).

Áreas aptas resultantes da Média Ponderada Ordenada,
para aterros que atendam até 30.000 pessoas.

124

Figura 78. Áreas aptas resultantes da MPO, para aterros que atendam até 30.000 pessoas.

Análise de rede para aterros que atendam até 30.000 pessoas
entre os municípios de Barra do Chapéu e Apiaí.

125

Figura 79. Áreas para aterros que atendam até 30.000 pessoas - municípios de Apiaí e Barra do Chapéu.

Análise de rede para aterros que atendam até 30.000 pessoas entre os municípios de Juquiá e Miracatu

126

Figura 80. Áreas para aterros que atendam até 30.000 pessoas - municípios de Juquiá e Miracatu.

Análise de rede para aterros que atendam até 30.000 pessoas entre os municípios de Miracatu, Pedro de Toledo e Itariri

127

Figura 81. Áreas para aterros que atendam até 30.000 pessoas - municípios de Itariri, Miracatu e Pedro de Toledo.

Análise de rede para aterros que atendam até 30.000 pessoas
entre os municípios de Registro e Sete Barras.

128

Figura 82. Áreas para aterros que atendam até 30.000 pessoas - municípios de Registro e Sete Barras.

Análise de rede para aterros que atendam até 30.000 pessoas
entre os municípios de Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati.

129

Figura 83. Áreas para aterros que atendam até 30.000 pessoas - municípios de Cajati, Jacupiranga, Pariquera-Açu e Registro.

Entre as áreas adequadas a aterros com capacidade para atender até 50.000 pessoas, apresentadas na Figura 84, foram encontrados locais que podem atender a mais de um município nos seguintes casos: Itapirapuã Paulista e Barra do Chapéu (Figura 85); Miracatu, Pedro de Toledo e Itariri (Figura 85); Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati (Figura 86); e Jacupiranga, Cajati e Eldorado (Figura 86).

Áreas aptas resultantes da Média Ponderada Ordenada,
para aterros que atendam até 50.000 pessoas.

131

Figura 84. Áreas aptas resultantes da MPO, para aterros que atendam até 50.000 pessoas.

Análise de rede para aterros que atendam até 50.000 pessoas entre os municípios de Itapirapuã Paulista e Barra do Chapéu

132

Figura 85. Áreas para aterros que atendam até 50.000 pessoas - municípios de Barra do Chapéu e Itapirapuã Paulista.

Análise de rede para aterros que atendam até 50.000 pessoas
entre os municípios de Miracatu, Pedro de Toledo e Itariri.

133

Figura 86. Áreas para aterros que atendam até 50.000 pessoas - municípios de Itariri, Miracatu e Pedro de Toldedo.

Análise de rede para aterros que atendam até 50.000 pessoas
entre os municípios de Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga, Cajati e Eldorado.

134

Figura 87. Áreas para aterros que atendam até 50.000 pessoas - municípios de Cajati, Eldorado, Pariquera-Açu e Registro.

Entre as áreas adequadas a aterros com capacidade para atender a mais de 50.000 pessoas (Figura 88), foram encontrados locais que podem atender a mais de um município nos seguintes casos: Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati (Figura 89); Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati (Figura 90); e Sete Barras, Registro, Pariquera-Açu e Jacupiranga (Figura 90).

Áreas aptas resultantes da Média Ponderada Ordenada,
para aterros que atendam mais de 50.000 pessoas.

136

Figura 88. Áreas aptas resultantes da MPO, para aterros que atendam mais de 50.000 pessoas.

Análise de rede para aterros que atendam mais de 50.000 pessoas
entre os municípios de Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati.

137

Figura 89. Áreas para aterros que atendam a mais de 50.000 pessoas - municípios de Cajati, Jacupiranga e Pariquera-Açu.

Análise de rede para aterros que atendam mais de 50.000 pessoas
entre as cidades de Sete Barras, Registro, Pariquera-Açu, Jacupiranga e Cajati.

138

Figura 90. Áreas para aterros que atendam mais de 50.000 pessoas - municípios de Jacupiranga, Pariquera-Açu, Registro e Sete Barras.

6 – Conclusões

A utilização de diferentes técnicas de análise multi-critério, aliadas à análise de rede, mostrou-se como uma importante ferramenta na busca por áreas aptas à construção de aterros sanitários e pode ser bem aplicada em trabalhos de planejamento físico-territorial.

O grande número de viagens para levantamento de informações e contatos na área de estudo foi fundamental para a execução das análises. As primeiras viagens tiveram o intuito e êxito de conhecer as atuais condições de disposição final de resíduos sólidos urbanos nos vinte e três municípios da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº11 – Vale do Ribeira de Iguape e Litoral Sul. Foram também realizadas viagens para participar de reuniões com representantes de Prefeituras, CETESB, DAEE e SABESP, o que foi de grande valor para a reunião de informações locais, além de apresentar o projeto e resultados preliminares a estes e ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul. Outras viagens foram realizadas para validação da metodologia utilizada, conferindo em campo áreas localizadas pelas análises multi-critério.

As análises multi-critério realizadas no programa IDRISI 15.0 (versão Andes), começaram com a aplicação da Combinação Linear Ponderada (CLP), onde todos os fatores foram rescalonados com funções específicas na técnica *Fuzzy*. Antes de executar a combinação, estes fatores foram ponderados em relação ao grau de importância de cada um para o resultado final, no módulo *weight*. O resultado foi uma imagem contínua com áreas de baixa aptidão até áreas de alta aptidão à construção de aterros sanitários.

A próxima análise multi-critério realizada foi a Média Ponderada Ordenada (MPO). Semelhante à CLP, os fatores envolvidos precisam estar padronizados em uma escala contínua de suscetibilidade e ponderados de acordo com a sua relativa importância. Porém, há total controle do nível de compensação entre os fatores e do risco da análise, possível através

de um segundo conjunto de pesos ordenados, que controla o nível de compensação. Foi realizada uma análise de baixo risco, aconselhada na literatura.

Os resultados da MPO foram preferidos para serem utilizados na análise de rede. Isso porque a MPO teve melhor capacidade de discernir o nível de aptidão das áreas, resultando em menor número de áreas para as análises de rede e verificações de campo, e maior probabilidade de êxito na localização de áreas com possibilidades práticas de utilização.

Após a etapa de análise multi-critério, realizou-se um estudo logístico sobre as áreas resultantes da MPO, com a extensão Network Analyst do Programa ArcGIS 9.2, considerando a distância das fontes geradoras de resíduos, as vias de transporte e a possibilidade de aproveitamento da mesma área para mais de um município. Esta análise de rede foi focada em diferentes tamanhos de áreas e diferentes distâncias entre as fontes geradoras (áreas urbanas) e as áreas aptas.

Todos vinte e três municípios da UGRHI-11 apresentaram áreas que podem ser estudadas com maior detalhamento para a construção de aterros. Em algumas análises, foi possível a indicação de áreas que atendam a mais de um município.

Deste projeto resultam áreas aptas sob critérios ambientais e logísticos. Para a escolha das áreas pelos municípios, são necessárias providências que estão além da esfera técnico-científica e dos recursos disponíveis para o projeto. Os municípios precisam concretizar acordos para a disposição conjunta, devem escolher, entre as áreas indicadas pelas análises, aquelas em que é possível a aquisição ou desapropriação a custos aceitáveis a seus orçamentos. Nestas devem ser feitos estudos detalhados de geologia, pedologia, hidrogeologia, incluindo sondagens, amostragens e análises, e de restrições ambientais, incluindo negociações com os órgãos de controle (principalmente CETESB e DEPRN), e complexas articulações com a população para aceitação da localização. Todas essas

dificuldades apontam para a conveniência de usar um número mínimo de áreas, dado o custo financeiro e político da aquisição da área e do licenciamento e operação do aterro. Desta forma, os resultados descritos neste estudo podem ser utilizados como uma importante ferramenta na gestão de resíduos sólidos urbanos, por fornecer aos municípios um elenco de opções de áreas para atendimento coletivo ou, nos casos de municípios muito isolados, individual, às necessidades de disposição final de resíduos.

7 – Bibliografia

- ALMEIDA, F.F.M. de - 1964 - Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Geologia do Estado de São Paulo, *Bol. IGG* (41):167-263, São Paulo.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1976 - The system of continental rifts bordering the Santos Basin. Intern.Symp. on Cont. Margins of Atlantic Type. *An.Acad.Bras.Ciênc.*, 48 (Supl.): 15-26, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M. de & CARNEIRO, C.D.R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Rev. Bras. Geoc.*, 28 (2): 135-150.
- ALONSO, L.R. Coleta, tratamento e disposição final: problemas e perspectivas. In: SÃO PAULO, Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental. *Resíduos sólidos e meio ambiente*. São Paulo: Pini, 1992.
- ARAÚJO, P. C. *Aplicação de sistema de informação geográfica na escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos no município de Americana – SP*. 1999. 91f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma 13.896 – *Aterros de Resíduos não Perigosos*. Critérios para projeto, implantação e operação. Junho de 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma 10.004 – *Resíduos Sólidos* -Classificação, 31 de maio de 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma 10.006 – *Solubilização de Resíduos* – Procedimentos, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma 10.007 – *Amostragem de Resíduos* – Procedimentos, 1987.
- BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ontario: Delta Printing Ltd, 1994. 398 p.

- BROLLO, M. J. *Metodologia Automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)*. 2001. 2v. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. de O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. *Informática Pública*, v. 4, p. 231-250. 2007.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. *GIS para o meio ambiente*. 1998. São José dos Campos, INPE, 88p.
- CAMPANHA, G. A. C., SADOWSKI, G. R. 1999 Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiáí Domain). *Precambrian Research*. Amsterdam: Elsevier, 98 (1):31 - 51.
- CAMPANHA, G. A. da C.; GIMENEZ FILHO, A.; BISTRICHI, C.A. 1995. Geologia da Folha Itararé em 1:250 000. In.: SIMP. GEOL. SUDESTE, 4, Águas de São Pedro, 1995. Boletim... Águas de São Pedro, SBG, p. 111.
- CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO. *Situação dos Recursos Hídricos do Ribeira de Iguape e Litoral Sul UGRHI 11*. Registro: Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul, 2000.
- CHARNPRAATHEEP, K. & GANER, B. Z. Q. Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Management and Research* V15, p. 197-215, 1996.
- CHIODI D.K. et al. , 1982 - *Projeto Planejamento Minerário na ocupação do solo em área de atuação da Sudelpa*. São Paulo, Sudelpa/CPRM, 3 v.
- COMITE DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI-11*. Disponível em: <http://geolig.igc.usp.br/geoproc/rs_ugrhi_rb/index.php> Acesso em 15 de abril de 2008b.

- COMITE DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. *Caderno de informações para consulta pública do plano da bacia. Situação Atual, problemas e idéias*. Registro, 2008. 26 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Aterro Sanitário*. Apostilas Ambientais. São Paulo: CETESB, 1997. 40 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Inventário Estadual de Resíduos Domiciliares*. São Paulo: CETESB, 2006.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. *Guia de coleta seletiva de lixo*. São Paulo. 84 p. 1999.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO – UNCED/Rio-92. *Agenda 21*. Capítulo 1, parágrafo 4.19. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/agenda21.php>. Acesso em 21 de maio de 2008.
- DELGADO, O. P; MENDOZA, M; GRANADOS, E. L; GENELETTI, D. *Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico*. Waste Management 28, p. 1137-1146, 2007.
- DYKSTRA, D. P. Mathematical programing for natural resource management. New York:McGraw-Hill, 1984. 318p.
- EASTMAN, J. R. Guide to GIS and Imaging Processing. *IDRISI Andes Manual: Version 15.0*. Worcester, MA, Clark Labs of Clark University, 2006.
- ESRI. *ARCGIS 9.0*. ArcGis Network Analyst Tutorial, 2006.
- FELGUEIRAS, C. A; CAMARA, G. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>. Acesso em 08 de julho de 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, R; GOMES, D; D'ELIA, M.; PARIS, M. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial. 2006. 104p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2002) *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. Período 1995-2000. Relatório Final*. São Paulo.

GESTÃO DE RESÍDUOS. São Paulo, n. 1, março/abril, 2006.

GHOSE, M. K.; DIKSHIT, A. K.; SHARMA, S. K. A GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality. *International Journal of Integrated Waste Management, Science and Technology*. Accepted 28 september 2005.

HAMER, G. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. *Biotechnology Advances*, v.22, n. 1-2. P. 71-79, December 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000). *Mapa de vegetação do Brasil*. Disponível em <http://mapas.ibge.gov.br/vegetacao/viewer.htm>. Acesso em 26 maio de 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado / Coordenação: Niza Silva Jardim – 1^a. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado / Coordenação: Maria Luiza Otero D'Almeida, André Vilhena – 2^a. Ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

INSTITUTO GEOLÓGICO – SMA/SP. *Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*. Relatório Técnico. São Paulo: IG-SMA, 1999. 98p.

KAO, J. J.; LIN, H. U. Multifactorial spatial analysis of landfill siting. *Journal of Environmental Engineering* 122, 1996. p. 902-908.

- KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; BAITELLO, J. B.; MATSUKUMA, C. K.; PAVÃO, M.; YWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R.; KANASHIRO, M. M.; BARRADAS, A. M. F.; BORGIO, S. C. *Levantamento da vegetação natural e caracterização do uso do solo no Estado de São Paulo*. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 2779-2785.
- Lei do Estado de São Paulo, nº12.300 de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes.
- Lei Federal 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e das outras providências.
- LEPSCH, I. F.; PRADO, H.; MENK, J. R. F.; SAKAI, E.; RIZZO, L. T. B. *Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos da região do Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo*. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agrônomo. Mapa na escala 1:250.000. 1999.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 3rd. 750p. Editora John Wiley & Sons Inc. EUA. 1994.
- LIMA, G. S. *Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise do valor e lógica fuzzy*. 1999. Dissertação (Mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 153p.
- LIMA, L. M. Q. *Lixo: Tratamento e Biorremediação*. 3 ed., Editora Hemus. 1995. 265p.
- LINO, I.C. *Seleção de Áreas para implantação de aterros sanitários: Análise Comparativa*. 2007. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista –Rio Claro. 85p.
- LO, C. P. *Applied Remote Sensing*. Longman:New York. 393p. 1991.
- MACEDO, A.B., WATANABE, N.Y., NUNES-da-SILVA, A.C., 2002 - *Geoprocessamento aplicado ao estudo da evolução do uso do solo em Unidades de Conservação Ambiental no Vale do Ribeira – SP*. São Paulo, FAPESP/IGc-USP, 22 p. (Relatório Final do Projeto de Auxílio à Pesquisa - FAPESP nº 00/12696-0).

- MALCZEWSKI, J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc, 1999. 392p.
- MC BEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQHAR, G. J. *Solid waste landfill engineering and design* Prentice Hall:Englewood Cliffs. 1995. 521p.
- MELO, M., S., *A Formação Pariqüera-Açu e Depósitos Relacionados: Sedimentação, Tectônica e Geomorfogênese*. 1990 210 f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MELO, M.S. de, FERNANDES, L.A., COIMBRA, A.M., MORAES, M.C., PONÇANO, W.L. 1991. Níveis de terraços fluviais do baixo Ribeira de Iguape (SP): A Formação Eldorado. In: CONGRESSO DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 3, Belo Horizonte, Assoc. Bras. Est. Quatern., Publicação Especial 1 (Resumos). 1991.
- MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação*. Universidade Federal de Viçosa 2ed. 307p. 2003.
- OLIVEIRA, J. B. de. *Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico, por João Bertoldo de Oliveira*. Campinas, Instituto Agrônômico, 112 p. 1999.
- OLIVEIRA, J. B. de. *Pedologia aplicada*. FEALQ: Piracicaba, 2 ed. 574p. 2005.
- ONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L.. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*, 1981, São Paulo, IPT. (Monografia 5).
- RAMOS, R.A.R. *Localização industrial: um modelo para o noroeste de Portugal*. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Minho, Portugal.
- RIZZINI, C.T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil. *Rev. Bras. Geogr.*, 1963. 25(1):1-64, Rio de Janeiro.

- ROCHA, C. H. B; FILHO, L, F, B; SILVA, J, X. Geoprocessamento aplicado à seleção de locais para a implantação de aterros sanitários: O caso de Mangaratiba – RJ. In. SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento & Análise Ambiental: Aplicações*. Editora Bertrand Brasil, 2004. Capítulo 7, p. 259-299.
- ROSS, J.L.S., A Morfogênese da Bacia do Ribeira do Iguaçu e os Sistemas Ambientais. São Paulo, *GEOUSP – Espaço e Tempo*, 2002, N° 12, Internet <http://www.usp.br/geografia>. Acesso em 15/12/2005.
- ROSS, J.L.S., *Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento Ambiental*. São Paulo: Oficina de Texto:, 2006, 208 p.
- SAATY, T.L. (1990). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 340 p.
- SANTOS, L. A; RODRIGUES, J. C. Implementação em SIG de uma Heurística para o Estudo da Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos. *Relatórios de Investigação* N° 6, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra – Portugal, 24p, 2003.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Geologia e recursos minerais do Estado de São Paulo* – Programa Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais Escala 1:750.000. 2006.
- SIDDIQUE, M. Z.; EVERETT, J. W.; VIEUX, B. E. Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Journal of Environmental Engineering* 122, p. 515-523, 1996.
- SILVEIRA, R. C. E.; PHILIPPI, L. S. *O papel dos consórcios intermunicipais na gestão de resíduos sólidos urbanos: uma breve contribuição ao debate*. 2005. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-174.pdf>. Acesso em 14 de maio de 2008.
- SISINNO, C.L.S.; OLIVEIRA, R. M. Impacto ambiental dos grandes depósitos de resíduos urbanos e industriais. In_ *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão interdisciplinar*. 1 ed., Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. P.59-78.

- SUGUIO, K., PETRI, S. 1973 Stratigraphy of the Iguape-Cananéia lagoonal region sedimentary deposits, São Paulo State, Brazil. Parte 2. *Boletim Instituto de Geociências USP* 4: 71-86, São Paulo.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. New York: Mc Graw – Hill, 1993, 978 p.
- TRESSOLDI, M; CONSONI, A. J. Disposição de resíduos. In. Oliveira, A. M, S.; Brito, S. N. A. (Ed). *Geologia da Engenharia*. 1 ed. São Paulo: ABGE, 1998.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. (1991) *Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal*. Rio de Janeiro. IBGE.
- WINTERFELDT, D. Von & EDWARDS, W. *Decision analysis and behavioural research*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 1986.
- YANG, K; ZHOU, X. N; YAN, W. A; HANG, D; STEINMANN, P. *Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: Leachate appraisal and Spatial anasysis using geographic information system and remote sensing*. Waste management, 2008.
- ZAMORANO, M; MOLERO, E; HURTADO, A; GRINDLAY, A; RAMOS, A. *Evaluation of a municipal site in Southern Spain in GIS_aided methodology*. Journal of Hazardous Materials. 2008.
- ZUQUETTE, L. V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. 1987. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 256 p.
- ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. *Cartografia Geotécnica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190p.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela - População, quantidade de lixo coletado (ton/dia) e localização dos locais de disposição final de resíduos (municípios da UGRHI-11).

Município	População 2006	RSU (ton/dia)	Área de atual disposição final				Observações
			Tipo	Localização (UTM)			
				Zona	Latitude	Longitude	
Apiai	28.470	6,8	Aterro em valas	22	7291558	727217	Lixo descoberto
Barra do Chapéu	4.964	0,6	Lixão	22	7297149	705484	
Barra do Turvo	8.901	1,3	Aterro em valas	22	7257671	754659	Lixo descoberto
Cajati	32.618	9,7	Aterro Controlado	22	7261928	794227	
			Lixão desativado	22	7262891	794195	Cooperativa recicladores
Cananéia	14.299	4,7	Lixão	23	7245493	213927	
Eldorado	14.671	2,8	Lixão	22	7279470	789176	
Iguape	28.683	9,2	Aterro em valas	23	7278999	241076	Lixo descoberto/Atrito Prefeitura x Vizinhos
Ilha Comprida	8.752	4,8	Lixão	23	7261248	239633	Disposição em Área de Proteção Ambiental
Iporanga	4.577	0,8	Aterro em valas	22	7279772	743829	
Itaóca	2.937	0,8	Aterro em valas	22	7269799	722084	Acesso através de propriedade privada
Itapirapuã Paulista	3.731	0,7	Aterro em valas	22	7283064	677820	Lixo descoberto
Itariri	15.159	3,3	Lixão	23	7314163	279726	
Jacupiranga	18.133	4,5	Aterro em valas	22	7268044	802090	
Juquiá	22.566	5,6	Aterro em valas	23	7312092	227233	Lixo descoberto
Juquitiba	31.375	8,4	lixão	23	7351489	288867	Localizado próximo à rodoviária e cemitério
Miracatu	24.453	4,9	lixão	23	7313644	249074	Área alugada pela prefeitura
Pariquera-Açu	20.454	5,7	lixão	23	7265347	211500	
Pedro de Toledo	10.104	2,7	lixão	23	7313156	271339	
Registro	57.178	18,3	Aterro Controlado	23	7286640	207521	
Ribeira	3.224	0,4	lixão	22	7280605	707553	
São L. da Serra	16.128	6,0	Aterro Controlado	23	7371937	306171	Dispõem em Itapeceirica da Serra
Sete Barras	14.482	2,0	Aterro em valas	23	7300889	200877	Lixo descoberto
Tapiraí	10.825	3,0	Aterro em valas	23	7352251	247990	

Fonte: CETESB (2006)

ANEXO B

Tabela - Características dos locais de disposição final de resíduos sólidos (municípios da UGRHI-11).

Município	Tipo de disposição	Dist. de núcleos habitacionais (m)		Dist. de drenagens (m)		Zona Saturada do solo (m)		Material para recobrimento				
		>500	<500	>200	<200	>3	<3	Disponibilidade			Qualidade	
								Suf.	Insuf.	Nenh.	Boa	Ruim
Apiáí	Aterro valas		X		X	X			X		X	
Barra do Chapéu	Lixão	X		X		X		X			X	
Barra do Turvo	Aterro valas		X		X	s/d	s/d	X			X	
	Aterro Controlado	X		X		X		X			X	
Cajati	Lixão desativ.	**	**			s/d	s/d					
Cananéia	Lixão		X		X		X		X			X
Eldorado	Lixão	X		X		X		X			X	
Iguape	Aterro valas		X		X	X		X			X	
Ilha Comprida	Lixão		X		X		X			X		X
Iporanga	Aterro valas	X		X		X		X			X	
Itaóca	Aterro valas	X		X		X		X			X	
Itapirapuã Paulista	Aterro em valas	X		X		X		X			X	
Itariri	Lixão		X	X			X		X		X	
Jacupiranga	Aterro valas	X		X		X		X			X	
Juquiá	Aterro valas	X		X		X		X			X	
Juquitiba	lixão		X		X		X		X		X	
Miracatu	lixão		X		X		X		X			X
Pariquera-Açu	lixão	X			X	s/d	s/d		X		X	
Pedro de Toledo	lixão		X	X			X		X			X
Registro	Aterro Controlado	X		X		X		X			X	
Ribeira	Lixão	X			X	X		X			X	
S. L. da Serra	Aterro Controlado	X		X		s/d	s/d	X			X	
Sete Barras	Aterro valas	X			X		X		X		X	
Tapiraí	Aterro valas	X		X		X		X			X	

s/d - Sem dados

** - Sem dados sobre data de início de disposição de resíduos e das casas no entorno

Fonte: CETESB (2006)

ANEXO C

Tabela - Características dos locais de disposição final de resíduos sólidos (municípios da UGRHI-11).

Município	Tipo de disposição	Sistema viário, trânsito e acesso			Isolamento visual da vizinhança		Legalidade e localização		Agência CETESB
		Bom	Reg.	Ruim	Bom	Ruim	Permitido	Proibido	
Apiai	Aterro valas	X				X	X		Itapetininga
Barra do Chapéu	Lixão	X			X		X		Itapetininga
Barra do Turvo	Aterro valas	X				X	X		Registro
	Aterro Controlado	X			X		X		Registro
Cajati	Lixão desativ.				**	**			Registro
Cananéia	Lixão			X	X		s/d	s/d	Registro
Eldorado	Lixão		X			X	X		Registro
Iguape	Aterro valas	X				X	X		Registro
Ilha Comprida	Lixão		X			X		X	Registro
Iporanga	Aterro valas	X			X		X		Registro
Itaóca	Aterro valas			X	X		X		Itapetininga
Itapirapuã Paulista	Aterro em valas		X		X		X		Itapetininga
Itariri	Lixão		X		X		X		Registro
Jacupiranga	Aterro valas	X			X		X		Registro
Juquiá	Aterro valas	X			X		X		Registro
Juquitiba	lixão	X				X	X		Santo Amaro
Miracatu	lixão		X			X	X		Registro
Pariquera-Açu	lixão	X			X		X		Registro
Pedro de Toledo	lixão	X				X	X		Registro
Registro	Aterro Controlado	X			X		X		Registro
Ribeira	Lixão	X			X		X		Itapetininga
S. L. da Serra	Aterro Controlado	X			X		X		Santo Amaro
Sete Barras	Aterro valas		X		X		X		Registro
Tapiraí	Aterro valas	X			X		X		Registro

s/d - Sem dados.

** - Sem dados sobre data de início de disposição de resíduos e das casas no entorno.

Fonte: CETESB (2006)

ANEXO D

Tabela – Condições operacionais.

Municípios	Lixo		Presença de urubus		Presença de catadores		Presença de animais		Obs.:	Resíduos de serviço de saúde		Resíduos industriais		Controle recebimento de cargas	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
Apiai	X		X		X		X		cachorro (vigia)	X		X			X
B. do Chapéu	X			X		X		X		X			X		X
Barra do Turvo	X		X			X		X		X			X		X
Cajati	X		X			X	X		cachorro (vigia)		X	X			X
Cananéia	X		X			X	X		gato		X	X			X
Eldorado	X		X		X			X			X		X		X
Iguape	X		X			X		X			X	X			X
Ilha Comprida	X		X		X		X		cachorro		X		X		X
Iporanga		X	X			X		X			X		X		X
Itaóca		X		X		X		X		X			X		X
Itapirapuã Paulista	X			X		X		X			X		X		X
Itariri	X		X		X			X		s/d	s/d		X		X
Jacupiranga		X	X			X		X			X		X		X
Juquiá	X		X			X		X			X		X		X
Juquitiba	X		X		X			X			X		X		X
Miracatu	X		X		X		X		cachorro		X		X		X
Pariquera-Açu	X		X		X		X		cachorro		X		X		X
Pedro de Toledo	X		X		X			X		s/d	s/d	s/d	s/d		X
Registro	X		X			X		X			X		X		X
Ribeira	X			X		X		X		X			X		X
S. Lourenço da Serra		X		X		X		X			X	X			X
Sete Barras	X		X		X			X		s/d	s/d	X			X
Tapiraí	X			X		X		X			X		X		X

s/d - Sem dados.

Fonte: CETESB (2006)

ANEXO E

Tabela – Infra-estrutura implantada.

Municípios	Cercamento da área		Portaria/Gurita		Impermeabilização da base do aterro		Drenagem de chorume			Drenagem de águas superficiais			Trator de esteira ou compatível		
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Suf.	Insuf.	Nenh.	Suf.	Insuf.	Nenh.	Perm.	Periodic.	Inexist.
Apiáí	X		X			X			X			X		X	
Barra do Chapéu		X		X		X			X			X		X	
Barra do Turvo	X		X			X			X		X			X	
Cajati	X		X		s/d	s/d	s/d	s/d	s/d		X		X		
Cananéia		X		X		X			X			X	X		
Eldorado		X		X		X			X			X		X	
Iguape	X		X			X			X			X	X		
Ilha Comprida		X		X		X			X			X			X
Iporanga	X		X			X			X			X		X	
Itaóca	X			X		X			X		X			X	
Itapirapuã Paulista	X			X		X			X			X		X	
Itariri	X			X		X			X			X		X	
Jacupiranga	X		X			X			X		X		X		
Juquiá	X		X			X			X			X		X	
Juquitiba	X		X			X			X			X	X		
Miracatu	X			X		X			X			X		X	
Pariquera-Açu	X			X		X			X			X		X	
Pedro de Toledo		X		X		X			X			X		X	
Registro	X		X			X			X			X	X		
Ribeira	X		X			X			X			X		X	
S. Lourenço da Serra	X		X		X			X		X			X		
Sete Barras	X		X			X			X			X		X	
Tapiraí	X		X			X			X			X		X	

s/d - Sem dados.

Fonte: CETESB (2006)

ANEXO F

Tabela - Infra-estrutura implantada.

Municípios	Sistema de tratamento de chorume		Sistema de drenagem de gases		Monitoração de águas subterrâneas	
	Sufic.	Insufi./Inesist.	Sufic.	Insufi./Inesist.	Sufic.	Insuf./Inesist.
Apiai		X		X		X
Barra do Chapéu		X		X	X	
Barra do Turvo		X		X	s/d	s/d
Cajati	s/d	s/d		X	X	
Cananéia		X		X	s/d	s/d
Eldorado		X		X		X
Iguape		X		X	X	
Ilha Comprida		X		X		X
Iporanga		X		X	s/d	s/d
Itaóca		X		X	X	
Itapirapuã Paulista		X		X	X	
Itariri		X		X		X
Jacupiranga		X		X	X	
Juquiá		X		X		X
Juquitiba		X		X		X
Miracatu		X		X	s/d	s/d
Parquera-Açu		X		X		X
Pedro de Toledo		X		X	s/d	s/d
Registro		X		X	X	
Ribeira		X		X		X
S. Lourenço da Serra	X		X		X	
Sete Barras		X		X		X
Tapiraí		X		X		X

s/d – Sem dados.

Fonte: CETESB (2006)