Campus de São Carlos

**SUBSÍDIOS PARA A PONDERAÇÃO DE FATORES
AMBIENTAIS NA LOCALIZAÇÃO DE ATERROS DE
RESÍDUOS SÓLIDOS, UTILIZANDO O SISTEMA DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

Simone Costa Pfeiffer

Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 22 / 10 / 01

Ass.: *Guilherme*

**Subsídios para a ponderação de fatores
ambientais na localização de aterros de
resíduos sólidos, utilizando o Sistema de
Informações Geográficas.**

Simone Costa Pfeiffer

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036802

Tese apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos, da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Hidráulica
e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur Mattos

São Carlos

2001

Class.	TESE-EESC
Curt.	14439
Tombo	T0242/01

st 1207900

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P527s Pfeiffer, Simone Costa
Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização
de aterros de resíduos sólidos, utilizando o sistema de informações
geográficas / Simone Costa Pfeiffer. — São Carlos, 2001.

Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos-
Universidade de São Paulo, 2001.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos.

1. Localização de aterro de resíduos sólidos. 2. Ponderação de
fatores. 3. Sistema de informações geográficas. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **SIMONE COSTA PFEIFFER**

Tese defendida e aprovada em 20-04-2001
pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado **ARTHUR MATTOS (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Titular **JOÃO TINOCO PEREIRA NETO**
(UFV - Universidade Federal de Viçosa)

Prof. Doutor **LUIZ PEREIRA DE BRITO**
(UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte)

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

À minha filha Gabriela e ao meu marido Eraldo,
pelos momentos de ausência.
Dedico a vocês, agora, todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arthur Mattos, pela orientação e amizade que sempre nos uniu;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de estudo e auxílio técnico que possibilitaram a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza, pelo grande auxílio prestado em todas as fases deste trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, pelo grande apoio que sempre recebi e, principalmente, pela amizade estabelecida;

À minha "prima" Nélia pelo carinho e atenção em todos os momentos;

À todos os amigos de São Carlos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	II
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. POLÍTICA AMBIENTAL BRASILEIRA	6
3.2. NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS	10
3.3. CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE ÁREAS DESTINADAS À DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	12
3.3.1. Solos	13
3.3.2. Topografia e declividade	20
3.3.3. Geologia/hidrogeologia	21
3.3.4. Água superficial	26
3.3.5. Uso e ocupação do solo	26
3.4. O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	28
3.4.1. A utilização do SIG em processos de seleção de áreas	32
3.4.2. Fatores envolvidos na escolha da área	34
3.5. PONDERAÇÃO DE FATORES	36

3.6. A ÁREA DE ESTUDO	40
3.6.1. Geologia	40
3.6.2. Hidrogeologia	42
3.6.3. Solos	42
 4. MATERIAIS E MÉTODOS	 49
4.1. ETAPA 1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	50
4.2. ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E DETERMINAÇÃO DE FATORES E PONDERAÇÕES	50
4.3. ETAPA 3 - ESTUDO DE CASO	51
4.3.1. MAPAS DIGITAIS	52
4.3.2. APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS ELIMINATÓRIOS E TÉCNICOS	54
4.3.3. DEFINIÇÃO DA PONDERAÇÃO	54
4.3.4. SELEÇÃO DE ÁREAS	55
 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	 57
5.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE ÁREAS	57
5.2. ANÁLISE DA PONDERAÇÃO DE FATORES UTILIZADOS EM ESTUDOS DE SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS PARA ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS	61
5.3. APLICAÇÃO DA PONDERAÇÃO DOS FATORES AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO	70
5.3.1. Localização da área de estudo	70
5.3.2. Seleção de áreas com viabilidade ambiental	70
5.3.2.1. Seleção de áreas considerando-se lógica booleana	75
5.3.2.2. Seleção de áreas utilizando-se a ponderação dos fatores	76
5.3.2.3. Seleção de áreas usando o conceito relativo (Fuzzy)	80
5.3.2.4. Determinação das áreas comuns aos três métodos	81
 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 83
 ANEXO A	 85
 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01. Exemplos de camadas temáticas do SIG. _____	30
FIGURA 02. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo. _____	70
FIGURA 03. Geologia. _____	71
FIGURA 04. Pedologia. _____	72
FIGURA 05. Uso do solo. _____	72
FIGURA 06. Declividades. _____	73
FIGURA 07. Hidrografia. _____	73
FIGURA 08. Infra-estrutura rodoviária. _____	74
FIGURA 09. Distâncias de núcleos urbanos. _____	74
FIGURA 10. Áreas selecionadas com a utilização da lógica booleana. _____	76
FIGURA 11. Áreas selecionadas através da ponderação dos fatores. _____	79
FIGURA 12. Classes de adequação de áreas obtidas através do método <i>fuzzy</i> . _____	81
FIGURA 13. Áreas selecionadas, comuns aos três métodos utilizados. _____	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 01. Permeabilidades e espessuras propostas para a camada subjacente ao aterro. _____	24
TABELA 02. Distâncias mínimas entre a base do aterro e o nível do lençol freático na estação chuvosa. _____	25
TABELA 03. Distâncias mínimas (<i>buffer</i>) entre um aterro e um corpo de água superficial. _____	27
TABELA 04. Distâncias mínimas (<i>buffer</i>) propostas entre um aterro e alguns tipos de ocupação humana. _____	29
TABELA 05. Fatores considerados na seleção de áreas para aterros, segundo os autores pesquisados. _____	59
TABELA 06. Importância atribuída por alguns autores aos fatores técnico-ambiental e sócio-econômico por eles considerados. _____	62
TABELA 07. Ordem de importância dos fatores segundo a opinião dos autores consultados. _____	63
TABELA 08. Razão entre os pesos atribuídos por alguns autores aos fatores utilizados por eles. _____	64
TABELA 09. Resultados encontrados para a análise da ponderação realizada. _____	69
TABELA 10. Fatores e pesos utilizados no estudo de caso. _____	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC – Capacidade de Troca Catiônica
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
Eh – Potencial de Oxidação
EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
EPA – Environmental Protection Agency
EUA – Estados Unidos da América
FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
IAC – Instituto Agrônomo de Campinas
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP – Índice de Plasticidade
MCE – Média Ponderada Ordenada
NBR – Norma Brasileira
pH – Potencial Hidrogeniônico
RAP – Relatório Ambiental Preliminar
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMA – Secretaria do Meio Ambiente
SPT – Standard Penetration Test
UTM – Unidade Transversa de Mercator
WLC – Weighted Linear Combination

RESUMO

PFEIFFER, S. C. (2001). Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando o sistema de informações geográficas. São Carlos, 2001. 114 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

No presente trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os critérios, fatores e ponderações envolvidos em processos de localização de aterros de resíduos sólidos. Com base nesse levantamento, foram identificados os principais elementos de avaliação envolvidos no contexto decisório em questão e estabelecida a importância relativa de cada descritor através da ponderação dos mesmos.

Estes dados foram aplicados em um estudo de caso (entorno de Ribeirão Preto – S.P.) visando a seleção preliminar de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos utilizando-se o sistema de informações geográficas (SIG). Este estudo teve como objetivo principal discutir os dados obtidos.

Para a seleção de áreas com viabilidade ambiental foram utilizados três diferentes métodos – lógica booleana, ponderação dos fatores e *fuzzy* – que resultaram na exclusão de 96,2%; 95,5% e 13,8%, respectivamente, da área estudada.

Palavras-chave: Localização de aterro de resíduos sólidos, ponderação de fatores, sistema de informações geográficas.

ABSTRACT

PFEIFFER, S. C. (2001). Subsidies for determining the weights of environmental factors for landfill siting using geographic information systems. São Carlos, 2001. 114 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Sanitary landfilling is the conventional method of disposing of municipal solid waste. Thus, the focus of the work was to develop the data and tool necessary to aid decision makers and special interest groups begin to understand the alternatives and tradeoffs in the landfill siting process.

A Geographic Information System (GIS) were used to determine suitable areas for solid waste landfill sites in Ribeirão Preto (SP). The siting criteria for selecting a potential site include geological and hydrogeological conditions, surface water distances, buffer zone of roads, topography, soil, land use and proximity to centres of population.

The weights or "importance" these criteria have a huge bearing on the decision making process. In spatial siting analysis with multiple factors, balancing the relative importance of varied factors can be difficult. Thus, a set of weights for the factors was presented and discussed.

Keywords: landfill siting, weights of factors, geographic information systems.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos é uma parte integrante das atividades econômicas da nossa sociedade. Apesar das tentativas, em nível mundial, de minimizar a geração de resíduos, a questão principal, atualmente, é como administrar a porção que não pode ser eliminada.

O recobrimento de resíduos constitui, ainda hoje, uma das práticas mais simples e econômicas de disposição final de resíduos sólidos. Entretanto, muitas áreas utilizadas para este fim apresentam um elevado potencial de contaminação do solo e da água subterrânea, devido ao fato de não terem sido adotadas tecnologias adequadas.

A seleção de áreas apropriadas para a disposição de resíduos sólidos é, de um modo geral, um processo demorado e dispendioso, pois envolve exigências legais e resistência por parte da população.

Nos últimos anos, diversas pesquisas relacionadas à questão ambiental vêm utilizando o sistema de informações geográficas (SIG) como uma ferramenta bastante valiosa nos processos de análise e planejamento ambiental. No caso específico de localização de aterros, a utilização do SIG tem se mostrado bastante útil devido à sua rapidez e capacidade de integração de dados.

Com a utilização do SIG, é possível combinar uma variedade de informações, aplicar normas e critérios exigidos para a instalação de um aterro e aproximar-se das áreas mais adequadas. O sistema elimina as áreas que apresentam restrições legais e/ou ambientais e classifica as áreas remanescentes, de acordo com suas adequações ao empreendimento. O processo de seleção utilizado pelo SIG baseia-se na ponderação dos fatores ambientais, através da atribuição de pesos a cada um destes fatores.

O presente trabalho, que desenvolve um estudo de caso no entorno do município de Ribeirão Preto (S.P.), visa a análise da ponderação de fatores

ambientais na localização de aterro de resíduos sólidos através do estudo de áreas com viabilidade ambiental, utilizando o sistema de informações geográficas (SIG). O Idrisi, desenvolvido pela Clark University Graduate School of Geography, Massashussets, foi o SIG/*software* utilizado neste trabalho.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Análise da ponderação de fatores ambientais (valoração não econômica) na localização de aterro de resíduos sólidos através do estudo de áreas com viabilidade ambiental.

Objetivos Específicos:

- determinação dos fatores intervenientes na disposição de resíduos sólidos no solo;
- aplicação da ponderação dos fatores ambientais em um estudo de caso: entorno do município de Ribeirão Preto (S.P.);
- utilização do SIG.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A problemática decorrente dos resíduos sólidos abrange vários aspectos, desde sua origem, coleta, tratamento e/ou destino final, assim como os conseqüentes danos causados ao meio ambiente, além da questão social que envolve as camadas da população que vive nos arredores das áreas destinadas à disposição desses resíduos.

Segundo SOUZA (1999), a geração é o ponto de partida no conjunto que constitui o sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos. Muitos estudos têm sido realizados a fim de demonstrar a evolução da geração de resíduos através dos tempos, tanto em termos quantitativos como em termos qualitativos. Assim, de acordo com SOUZA (op. cit.), pode-se definir os seguintes fatores como os mais influentes na geração e composição dos resíduos sólidos domésticos:

Nível de renda familiar - a quantidade per capita de resíduos produzidos aumenta em proporção à renda familiar, já que quanto maior é a renda, maior é o consumo e, conseqüentemente, maiores são os desperdícios por sobras e maiores as ocorrências de embalagens. Na composição dos resíduos sólidos das classes de maior renda, observa-se maiores quantidades de papéis e papelão, embalagens plásticas, recipientes de vidro e metal e, menores quantidades de matéria orgânica;

Industrialização de alimentos - o crescente desenvolvimento na industrialização de alimentos também tem influenciado na tendência para a maior quantidade de embalagens e menores quantidades de matéria orgânica, já que os alimentos vem limpos e preparados para o consumo;

Hábitos da População - a aquisição de alimentos em feiras livres, por exemplo, aumenta as quantidades de matéria orgânica nos resíduos. Por outro lado, observa-se que a tendência para a aquisição de bebidas em embalagens sem retorno tem aumentado a participação de plásticos, latas e papelão nos resíduos;

Fatores Sazonais - é conhecida a tendência de aumento da geração de resíduos sólidos domésticos no período de fim de ano, em virtude de maior consumo. Os resíduos sólidos produzidos nesta época refletem as compras natalinas e maior consumo de bebidas e alimentos.

Avaliações e previsões razoavelmente válidas sobre as quantidades e tipos de resíduos gerados são fundamentais quando se planeja sistemas de limpeza urbana.

Embora existam várias opções para o tratamento ou mesmo eliminação dos resíduos sólidos gerados, na grande maioria das cidades brasileiras isto não é observado. O que mais ocorre, é a disposição desses resíduos a céu aberto em locais geralmente não apropriados. Segundo o IBGE (1991), o lançamento de resíduos sólidos a céu aberto representa ainda a solução para cerca de 76% das comunidades brasileiras, embora seja, sob todos os aspectos, a pior forma de disposição.

Do ponto de vista sanitário, a importância do lixo como causa direta não está comprovada. O risco potencial de transmissão direta de doenças infecciosas por qualquer tipo de resíduos sólido depende da presença de um agente infeccioso, da sua capacidade de sobrevivência no lixo e da possibilidade de sua transmissão do lixo para um hospedeiro susceptível. No entanto, como fator indireto, o lixo tem grande importância na transmissão de doenças através de vetores como artrópodes (moscas, mosquitos, baratas) e roedores que encontram no lixo alimento e condições adequadas de proliferação (MORAES, 1997).

Ambientalmente, a disposição inadequada dos resíduos sólidos resulta em sérios problemas, dentre os quais pode-se destacar os seguintes:

- contaminação do solo e dos recursos hídricos (superficial e subterrâneo) pelo chorume;
- queima espontânea dos gases produzidos;
- proliferação de vetores;
- impacto estético-visual (poluição visual);
- depreciação das propriedades próximas à área
- queda na qualidade de vida da população do entorno (fator psicológico)
- desenvolvimento de atividade de catação (exposição dos catadores à ação de objetos cortantes e às consequências da ingestão de alimentos deteriorados).

O aterro é uma forma de disposição final de resíduos sólidos no solo que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, garante um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e proteção à saúde pública (CETESB, 1993). Este tipo de destinação é o de menor custo dentre todos os métodos de destinação sanitária de resíduos. Entretanto, o aterramento de resíduos sólidos não é uma prática recente. Na Mesopotâmia, há cerca de 2.500 anos atrás, já se enterravam resíduos domésticos em trincheiras escavadas no solo. Em Roma, no ano de 150, a população urbana, ao invés de dispor o lixo sobre o solo, enterrava-o como medida de segurança para evitar a proliferação de roedores e insetos. Também na Idade Média, devido ao grande número de vítimas ocasionadas pela peste bubônica na Europa, o homem foi obrigado a enterrar seus dejetos.

Atualmente, um dos grandes problemas das cidades mais desenvolvidas é não dispor de áreas adequadas para depositar o lixo urbano coletado. A questão dos resíduos sólidos nunca foi planejada e encarada como problema de saúde pública e de risco ambiental. Passou a ter importância somente quando veio a disputar as áreas urbanas com a ocupação espacial e territorial da cidade, passando a representar um obstáculo à expansão urbana. As cidades cresceram e alcançaram os locais antes destinados à disposição dos resíduos.

A questão dos resíduos perigosos, gerados nas atividades industriais, também não encontra-se equacionada. Observa-se que estes resíduos, normalmente, não retornam aos processos produtivos, sendo lançados no meio ambiente de maneira desordenada. Segundo MANDELLI (1991), considerando-se a diversidade e o porte do parque industrial brasileiro, pode-se afirmar que, em termos ambientais, a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados assumem importância considerável no processo de degradação do meio ambiente.

3.1. POLÍTICA AMBIENTAL BRASILEIRA

Em 31 de agosto de 1981, foi sancionada a LEI nº 6.938 que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA. A Política Nacional do Meio Ambiente tem como objetivo preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental propícia à vida. Já o Sistema Nacional do Meio Ambiente, tem como órgão consultivo e deliberativo o

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, com a finalidade de assessorar, estudar e propor diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado.

De acordo com a RESOLUÇÃO CONAMA nº 001 de 23/01/86, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente depende da elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente.

A referida resolução considera como impacto ambiental *qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:*

- a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- as atividades sociais e econômicas;
- a biota;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- a qualidade dos recursos ambientais.

Estabelece, ainda, que o estudo de impacto ambiental deve, no mínimo, desenvolver as seguintes atividades técnicas:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto considerando:

- o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;
- o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
- o meio sócio-econômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio-economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas.

III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos.

IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento.

O órgão estadual competente deve fornecer as instruções adicionais que se fizerem necessárias, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área.

No âmbito estadual, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP, 1991) elaborou um manual de orientação sobre a aplicação da Resolução 001/86 do CONAMA às atividades dos sistemas de disposição de resíduos sólidos domésticos, industriais e de serviços de saúde no estado. Dentre as áreas de interesse ambiental listadas neste manual, destacam-se:

- aquelas incluídas no Código Florestal como sendo de preservação permanente;
- aquelas sob proteção especial, tais como parques, áreas de proteção ambiental e áreas tombadas;
- aquelas onde há ocorrência de mata atlântica;
- aquelas situadas a montante de captações, ou dentro de perímetros de proteção de mananciais (definidas como a zona que abrange todas as áreas de drenagem dos cursos de água a montante do ponto de captação, que são utilizadas como mananciais para abastecimento público);
- áreas que constituem zonas de recarga de aquíferos;
- áreas que se situem em faixa de aproximadamente 200 m adjacentes à zona de vida silvestre, ou em situação que a faça sofrer os efeitos da atividade, como em bacias que drenam diretamente para zonas de vida silvestre;
- áreas que atravessam o perímetro urbano do município;
- áreas com cobertura vegetal de significativa importância;
- áreas cuja instabilidade dos terrenos se relacione com características geológicas, geomorfológicas e geotécnicas, tais como: áreas de várzea, áreas sujeitas a inundações freqüentes, etc.;
- áreas para as quais esteja prevista a implantação de planos municipais ou de zoneamento ambiental definidos pelo estado, ou onde serão consolidadas outras atividades importantes ao desenvolvimento regional ou municipal, como: urbanização, ou extensão urbana, produção rural, aproveitamento hidro-agrícola, etc.;
- áreas de interesse científico, histórico, arqueológico, de manifestações culturais ou etnológicas da comunidade, etc.;

- áreas destinadas ao turismo, com acentuada população flutuante, e/ou paisagens notáveis, condições climáticas especiais, fontes hidrominerais aproveitáveis e acidentes naturais adequados ao repouso e à prática de atividades recreativas.

Ainda no Estado de São Paulo, a normatização dos procedimentos para o licenciamento ambiental, que se dá através das licenças prévia, de instalação e de operação, foi estabelecida pela Resolução SMA 42, de 29 de dezembro de 1994 que instituiu dois instrumentos preliminares ao EIA e RIMA: Relatório Ambiental Preliminar – RAP - e Termo de Referência. Esta resolução estabelece que

O relatório ambiental preliminar configura-se como o documento primeiro para o licenciamento ambiental e tem como função instrumentalizar a decisão de exigência ou dispensa de EIA e RIMA, para a obtenção de Licença prévia. Em caso de exigência, juntamente com outros instrumentos, subsidiará a elaboração do termo de referência para o EIA e RIMA.

Já o Código Florestal (LEI FEDERAL nº 4.771/65, modificada pelas Leis nº 7.803/89 e nº 7.875/89) considera de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- *ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja: de 30 m para os cursos d'água de menos de 10 m de largura, de 50 m para cursos d'água que tenham de 10 a 50 m de largura, de 100 m para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 m de largura, de 200 m para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 m de largura, e de 500 m para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 m;*
- *ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;*
- *nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m de largura;*
- *no topo de morros, montes, montanhas e serras;*
- *nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;*
- *nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;*
- *nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 m em projeções horizontais;*
- *em altitude superior a 1.800 m, qualquer que seja a vegetação.*

No caso de áreas urbanas, deve ser observado o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo.

O Código Florestal considera, ainda, de preservação permanente algumas formas de vegetação natural tais como as destinadas a atenuar a erosão das terras; a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias; a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico; a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção; e a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas.

3.2. NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS

Segundo a Norma ABNT - NBR 10.004 - Resíduos Sólidos (1987), *são considerados resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam das atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo-se os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções técnica e economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.*

Na citada norma, os resíduos sólidos são classificados em:

- resíduos classe I - perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade, isto é, podem colocar em risco a saúde pública e/ou o meio ambiente, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas; ou uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade;
- resíduos classe II - não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos ou inertes. Podem apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- resíduos classe III - inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados segundo a norma NBR 10.007 e submetidos a teste de solubilização segundo

a norma NBR 10.006, atenderem aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

A norma NBR 10.005 (Lixiviação de resíduos – procedimento), que estabelece os critérios para a realização do Ensaio de Lixiviação, também encontra-se vinculada à NBR 10.004.

Já a norma NBR 13.896 de 1997 (Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação) estabelece as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos e determina que o local para a implantação de um aterro deve ser tal que:

- o impacto ambiental causado pela instalação seja minimizado;
- a aceitação da instalação por parte da população seja maximizado;
- esteja de acordo com o zoneamento da região;
- possa ser utilizado por um longo espaço de tempo com um mínimo de obras para o início da operação.

De acordo com a citada norma, para a avaliação da adequabilidade de um local aos critérios citados anteriormente, as seguintes considerações devem ser feitas:

- topografia - fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. São recomendados locais com declividades entre 1% e 30%;
- geologia e tipos de solos existentes – *são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficientes de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;*
- recursos hídricos – *deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água;*
- vegetação – *o estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;*

- acessos – fator importante em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda sua operação;
- tamanho disponível e vida útil – são fatores inter-relacionados. Recomenda-se uma vida útil mínima de 10 anos;
- custos – variam conforme o tamanho do aterro e o método construtivo. É necessário a elaboração de um cronograma físico-financeiro para que a análise de viabilidade financeira seja possível;
- distância mínima a núcleos populacionais – *deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.*

A citada norma estabelece, ainda, os critérios que devem, obrigatoriamente, ser observados:

- o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, com períodos de recorrência inferiores a 100 anos;
- existência de uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado entre a superfície inferior do aterro e o nível máximo do lençol freático, medido durante o período de maior precipitação pluviométrica da região;
- *o aterro deve ser executado em locais onde haja predominância, no subsolo, de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-5} cm/s;*
- *os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.*

3.3. CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE ÁREAS DESTINADAS À DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os cuidados com a seleção dos locais para a implantação de aterros de resíduos sólidos são essenciais. Segundo LEE & JONES-LEE (1998), em aterros de resíduos sólidos convencionais onde a única restrição à entrada de umidade é a cobertura do mesmo, a produção de percolato (mistura do líquido gerado pela degradação da matéria orgânica – chorume – com a água da chuva) pode

perdurar por cerca de mil anos ou mais. FREEZE & CHERRY¹ apud LEE & JONES-LEE (1998) relatam que aterros construídos na época do império romano estão, ainda hoje (cerca de 2.000 anos depois), produzindo percolado.

Desta forma, os aterros devem ser localizados em áreas onde existam fatores naturais favoráveis que, no caso de falha e/ou deterioração natural de qualquer sistema de proteção incorporado ao projeto, possam atenuar os efeitos ambientais indesejáveis. CETESB (1993) observa que devem ser dispostos em aterros apenas os resíduos cujos poluentes neles contidos possam sofrer alguma forma de atenuação no solo, seja por processos de degradação ou de retenção (filtração, adsorção, troca iônica, etc.).

De acordo com MANDELLI (1991), a escolha da área deve ser precedida por um minucioso estudo. Segundo a autora, em geral, devido a escassez de áreas adequadas próximas aos centros urbanos e a falta de habilidade daqueles que conduzem o processo de seleção, esta atividade pode vir a ser um dos aspectos de maior complexidade na implantação de um projeto desta natureza, exigindo, portanto, atenções especiais.

Os principais fatores que devem ser avaliados durante o processo de seleção da área para que se possa oferecer, durante e após a implantação do aterro, proteção ao meio ambiente, são descritos a seguir.

3.3.1. Solos

O conhecimento das características de um solo é importante por três razões:

- o solo é usado para a cobertura diária dos resíduos e para o fechamento do aterro quando sua capacidade total é atingida. A permeabilidade da cobertura final tem grande influência na quantidade de chorume gerado;
- o material localizado abaixo e nas adjacências do aterro deve ser adequado à construção do mesmo, proporcionando uma fundação adequada;
- o solo determina a taxa de percolação do chorume gerado e o comportamento (retenção ou mobilidade) dos contaminantes associados.

¹ FREEZE, R. A; CHERRY, J. A. (1992). Groundwater, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ.

A capacidade de adsorção e retenção de contaminantes de um solo depende de sua composição. Segundo SALOMONS & STIGLIANI (1995), os principais parâmetros que controlam a capacidade de retenção de contaminantes de um solo são:

- o teor de matéria orgânica,
- o teor e a natureza dos argilo-minerais presentes,
- o teor de ferro e manganês.

Conforme os citados autores, existe uma forte relação entre o teor de matéria orgânica e a concentração de micro poluentes orgânicos. Já no caso de contaminantes inorgânicos como metais pesados, a capacidade de adsorção tanto das partículas orgânicas quanto das inorgânicas deve ser considerada. Os autores observam, ainda, que outros parâmetros como pH, ambiente redox e presença de agentes complexantes (matéria orgânica dissolvida e ânions inorgânicos) também influenciam no balanço entre retenção e mobilidade dos contaminantes. Além disso, para prognósticos a longo prazo, é preciso considerar não apenas essas variáveis, que determinam a adsorção inicial, mas também a estabilidade das fases adsorvidas, já que as propriedades de um solo não são constantes e, portanto, o mesmo não pode ser tratado como um sistema estático, a não ser por pequenos intervalos de tempo (1 a 5 anos).

Matéria Orgânica

A matéria orgânica concentra-se no topo do perfil do solo (10 a 30 cm), sendo geralmente pequena a quantidade da mesma abaixo desta zona (La BAUVE et al, 1988). Tal posicionamento faz com que a matéria orgânica torne-se a primeira barreira à entrada de contaminantes no solo. Entretanto, LEITE (1995) observa que a matéria orgânica tem importância como adsorvente apenas em solos com teores acima de 10% e, apesar de relacionada a uma maior adsorção, a presença de alto teor de matéria orgânica pode causar elevada compressibilidade, baixa resistência ao cisalhamento e redução de volume decorrente dos processos de degradação da matéria orgânica, o que desclassifica a utilização desse tipo de solo como substrato para a disposição de resíduos sólidos. SALOMONS & STIGLIANI (1995) também chamam a atenção para o fato de que, embora a matéria orgânica seja capaz de reter contaminantes, grande parte dela é

facilmente degradada, o que possibilita a mobilização de metais pesados e micro poluentes orgânicos em particular.

Argilo-minerais

De acordo com CETESB (1993), os íons presentes em solução comportam-se de acordo com sua carga elétrica, ou seja, a maioria dos ânions (cloretos, nitratos, sulfetos, silicatos) deslocam-se e se dispersam na água geralmente com pouco ou nenhum retardamento, enquanto que todos os cátions, em maior ou menor grau, estão sujeitos à troca de íons e adsorção em argilas e siltes.

O teor de argila, de um modo geral, aumenta nas camadas inferiores do solo (horizontes B e C) (La BAUVE et al, 1988). As argilas são os minerais que possuem maior capacidade de adsorção de contaminantes (LEITE, 1995), devido à grande área específica e alta capacidade de troca catiônica (CTC) apresentadas pelas mesmas. De acordo com CETESB (1993), os grãos de argila têm carga elétrica negativa e sobre sua superfície existem cátions adsorvidos que podem ser substituídos por outros. Assim, quanto menor for o grão da argila, maior será a área específica disponível por unidade de volume e, conseqüentemente, a capacidade de troca de cátions. Segundo La BAUVE et al. (1988), solos arenosos apresentam baixa CTC porque os grãos de areia são relativamente grandes, o que reduz a área específica e, além disso, a areia é em sua maior parte quartzo, mineral pouco reativo.

Segundo CETESB (1993), a CTC depende da espécie mineral que constitui a argila. Os argilo-minerais do grupo da caulinita são os que apresentam os menores valores de CTC (3 a 10 me/100g); já as montmorilonitas apresentam CTC variando entre 60 e 100 me/100 g. LEITE (1995) observa que esses valores variam de acordo com a ordem ou desordem estrutural e com a presença de impurezas associadas, e que, a partir de dados de CTC, pode-se inferir qual o tipo de argilo-mineral presente no solo.

De acordo com OLIVEIRA et al. (1992), certas classes de solo, por definição, só reúnem solos de argila de atividade alta (ou seja, CTC igual ou superior a 24 meq/100g) como os Brunizéns, Brunizéns Avermelhados e Brunos Não-Cálcicos, enquanto outras só compreendem solos de argila de atividade baixa (CTC igual ou inferior a 24 meq/100g), como os Latossolos e as Terras Roxas

Estruturadas. Quando em determinada classe de solos for indiferente a atividade da argila, ela deve ser apropriadamente explicitada.

ZUQUETTE (1993) apud SARAIVA & RODRIGUES (1994), em trabalho desenvolvido com o intuito de estabelecer limites para os principais atributos relacionados a disposição de resíduos sólidos, classificou a CTC como favorável quando esta é maior que 15 meq/100g, moderada quando os valores situam-se entre 5 e 15 meq/100g, severa quando menor que 5 meq/100g e restritiva nos casos em que os valores encontram-se abaixo de 2 meq/100g.

POHL et al. (1994) explicam que as caulinitas predominam na maioria dos solos tropicais e são classificadas como minerais de argila tipo 1:1 por serem formadas por unidades de silício e alumínio que se unem alternadamente, conferindo-lhes uma estrutura rígida. Cátions e água não penetram entre a camada estrutural, o que implica em uma diminuição da área específica na qual os cátions podem ser adsorvidos. Uma outra consequência de tal estruturamento mineral é que as argilas caoliníticas são relativamente estáveis em presença de água. Já as argilas do tipo 2:1 como a montmorilonita, que predominam em solos de regiões temperadas, são estruturalmente formadas por uma unidade de alumínio entre duas unidades de silício. A ligação entre essas unidades, não sendo suficientemente firme para impedir a passagem de moléculas de água, aumenta a área disponível para troca de cátions (o que aumenta sua CTC) mas, por outro lado, torna as argilas montmoriloníticas muito expansivas e, portanto, instáveis em presença de água.

Um outro aspecto relacionado a esse estruturamento é o fenômeno da contração. LEITE (1995) observa que solos com elevadas porcentagens de argilo-minerais do tipo 1:1 sofrem menos contração do que aqueles que possuem argilo-minerais do tipo 2:1 e ressalta que o fenômeno da contração possibilita o aparecimento de fendas, o que resulta em um aumento da permeabilidade.

Óxidos e hidróxidos de ferro e manganês

A presença de óxidos de ferro e manganês também interfere na retenção de contaminantes. Segundo LEITE (1995), em ambientes supergênicos, os óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês estão entre os principais adsorventes. De acordo com a citada autora, a adsorção por óxido de manganês amorfo ou cristalizado em materiais inconsolidados é o principal fator condicionante da

mobilidade dos metais de baixo potencial iônico enquanto que o óxido de ferro amorfo ou cristalizado adsorve mais facilmente os elementos de alto potencial iônico.

pH e ambiente redox

O pH e o ambiente redox são variáveis que controlam a mobilidade de contaminantes e, portanto, sua dispersão no meio ambiente. As condições químicas de diversos ambientes, dentre eles o solo, podem ser representadas pelos chamados diagramas Eh-pH. Esses diagramas auxiliam na compreensão das relações entre sólidos e espécies dissolvidas e no entendimento do critério de mobilidade de muitos metais pesados (SALOMONS & STIGLIANI, 1995; LEITE, 1995).

De acordo com MADISON e ZAPOROZEC² apud KARTHIKEYAN et al (1996), o pH do solo é um dos principais determinantes do potencial de adsorção de poluentes. LEITE (1995) observa que os argilo-minerais somente adsorvem quantidades significativas de metais em pH próximo a 7. Segundo La BAUVE et al (1988), isto ocorre porque, com a elevação do pH, há uma redução na concentração de H^+ no solo, o que diminui, conseqüentemente, a competição entre metais pesados e o H^+ . Entretanto, SALOMONS & STIGLIANI (1995) ressaltam que a relação existente entre adsorção de metais e pH é uma relação não linear; assim, uma pequena mudança no pH (1 a 2 unidades) pode causar um pronto aumento ou decréscimo no nível de metal dissolvido. O início do processo de adsorção ou dessorção depende do metal envolvido.

Já o ambiente redox existente em solos e sedimentos tem uma influência direta tanto na mobilidade de contaminantes (através de mudanças no estado de oxidação do metal) quanto na capacidade de controle de certos parâmetros. Mudanças nas fases sólidas do meio poroso que causam a adsorção, por exemplo, podem afetar de forma indireta a mobilidade de outros metais pesados não atingidos pelas variações no ambiente (SALOMONS & STIGLIANI, 1995; LEITE, 1995).

A análise conjunta da condição redox e do pH indica as reações que podem ocorrer e permite o estabelecimento de uma série de cenários. Por

² MADISON, F. & ZAPOROZEC, A. (1985). Groundwater protection principles and alternatives for Rock County, Wisconsin. Wisconsin geological and natural history survey special rept., 8. Wis.

exemplo, sob condições oxidantes ou levemente redutoras e pH entre neutro a moderadamente alcalino, a solubilidade de cátions de metais pesados diminui devido a precipitação de óxidos, hidróxidos ou carbonatos (SALOMONS & STIGLIANI, 1995). De um modo geral, o pH tende a aumentar com a redução e a diminuir com a oxidação.

Permeabilidade

Segundo CETESB (1993), chama-se permeabilidade a maior ou menor facilidade com que a percolação da água ocorre através de um solo. Ela depende principalmente do tamanho e arranjo dos grãos do solo, do índice de vazios, das características do fluido que escoar e da temperatura. Quanto menor for o diâmetro das partículas, menores serão, também, os canais de fluxo em seu interior e, conseqüentemente, menor a permeabilidade (LEITE, 1995).

SETZER & PORTO (1987) observam, entretanto, que um bom teor de matéria orgânica diminui a permeabilidade excessiva dos solos arenosos e nos solos argilosos, ao contrário, aumenta a permeabilidade devido a agregação dos grãos em grumos grãos e estáveis, o que resulta na formação de poros maiores.

Para ZUQUETTE apud SARAIVA & RODRIGUES (1994), o coeficiente de permeabilidade do material inconsolidado é considerado favorável à implantação de um aterro sanitário no local quando o mesmo apresenta valores iguais ou menores que 10^{-4} cm/s, moderado quando varia entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s, severo quando maior que 10^{-3} cm/s e restritivo quando os valores são muito altos.

A compactação de um solo argiloso (constituindo os chamados *liners*) pode diminuir a permeabilidade do mesmo. Entretanto, segundo GRAY³ apud LEE & JONES-LEE (1998), mesmo em camadas argilosas com baixa permeabilidade ocorre transporte de poluentes. De acordo com o citado autor, nesses casos (para permeabilidades em torno de 10^{-7} cm/s ou menores), o processo de difusão molecular torna-se o mecanismo de transporte dominante.

Erodibilidade

Erodibilidade pode ser definida como a susceptibilidade dos terrenos à

³ GRAY, D. H. (1988). A diffusion as a transporte process in fine-grained barrier materials. *Geotechnical News*, 6 (2), June.

erosão. As principais características do solo que condicionam sua erodibilidade, conforme DAEE (1990) e CETESB (1993), são: textura, estrutura, composição, teor de umidade, coesão, espessura, relação textural entre os horizontes ou camadas, e plasticidade do solo.

Assim, solos mais arenosos, que se desagregam mais facilmente que os solos argilosos, possuem maior erodibilidade. De acordo com CETESB (1993), os materiais mais resistentes a erosão são as argilas plásticas ($IP > 15$) e saturadas.

Com relação às classes de solos, DAEE (1990) observa que solos do tipo podzólico, em geral, são mais suscetíveis a erosão que os do tipo latossólico pois, além de ocorrerem em topografias mais movimentadas, apresentam, logo abaixo do horizonte superficial (cerca de 0,40 m), um horizonte ou camada com maior concentração de argilas que representa uma certa barreira à infiltração da água. Como consequência, o fluxo de água logo abaixo da superfície tende a propiciar uma maior erosão neste tipo de solo

Compressibilidade e recalques

Compressibilidade é a propriedade dos solos em mudar de forma ou volume quando submetidos a forças externas (CETESB, 1993). De acordo com a citada fonte, nos solos finos, a compressibilidade é mais elevada do que nos solos grossos porque a estrutura granular é mais ampla e complexa e os grãos, escamosos ou alongados, sofrem deformações por flexão ou dobramento. Quando um solo fino é submetido à compressão, a água contida no mesmo tem dificuldade de sair dos poros para fora da massa de solo devido a baixa permeabilidade; assim, parte da pressão aplicada é absorvida pela estrutura do solo e parte é suportada pelo líquido. À medida que a drenagem for se desenvolvendo, os vazios irão diminuindo e, conseqüentemente, os recalques se desenvolvendo. Quando o subsolo não é homogêneo e as estruturas são extensas, podem ocorrer recalques com diferentes intensidades em vários pontos da estrutura.

Colapsividade e capacidade de suporte (SPT)

Dentre as características do solo que devem ser consideradas em um projeto de aterro merece destaque o fator colapsividade. De acordo com ALBIERO et al. (1993), para a previsão do recalque de um elemento de fundação, recorre-se normalmente a relações teóricas ou empíricas entre as tensões e deformações.

Entretanto, existem alguns solos especiais, de alta porosidade, onde essas relações não são contínuas. Pode ocorrer também de um solo estar submetido a uma tensão constante e, havendo um aumento no teor de umidade, ocorrer um enfraquecimento nas ligações internas, provocando um repentino deslocamento entre as partículas e conseqüentemente, uma brusca redução no seu volume.

Conforme o citado autor, esse tipo de solo, bastante abundante no interior de São Paulo, recebe o nome de colapsível e a sua estrutura é conhecida como meta estável. O clima tropical, onde há alternâncias de estações chuvosas com estações de relativa seca, favorece a ocorrência da lixiviação dos finos do horizonte superficial, criando uma estrutura porosa e não saturada, condição básica para que ocorra esse fenômeno.

De acordo com levantamento realizado por MENEZES (1994), a colapsividade de um solo é influenciada por vários fatores dentre os quais destacam-se: o teor de umidade natural, as tensões de sucção existentes, densidade inicial seca e índice de vazios, grau de saturação inicial e capacidade de suporte. Segundo o autor, há uma nítida relação entre colapsividade e profundidade. Quanto mais profundo estiver localizado o depósito de solo, menores serão os valores de abatimento por colapso que este apresentará, até que o fenômeno não mais ocorra a uma dada profundidade.

Embora valores de índices de resistência a penetração (SPT) maiores que 20 sejam considerados como adequados à disposição de rejeitos (LEITE, 1995), a utilização desses para a determinação de solos colapsíveis é discutível. LOBO apud ALBIERO (1993) constatou que a variação do nível d'água freático, num solo colapsível, altera de forma significativa os valores do SPT. Para LEITE (1995), uma forma de se caracterizar a colapsividade de um solo é a utilização da relação entre o peso específico seco deste solo (obtido quando da compactação) e seu peso específico seco máximo (obtido em ensaios de laboratórios). Segundo CARVALHO apud LEITE (1995), os valores obtidos a partir dessa relação, quando inferiores a 93%, informam que o material inconsolidado é do tipo colapsível.

3.3.2. Topografia e declividade

De acordo com DAEE (1990), a topografia é um dos principais fatores naturais que determinam a velocidade dos processos erosivos e sua influência

deve ser analisada pela ponderação de dois fatores: declividade e comprimento da encosta. Assim, maiores velocidades de erosão podem ser esperadas em relevos acidentados do que em relevos suaves, pois declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva. A declividade tem tanto maior importância quanto maior for o trecho percorrido pela água que escoar, ou seja, quanto maior for o comprimento da encosta.

Além dos problemas associados à erosão, áreas com altas declividades estão mais susceptíveis à movimentos de massas e implicam no aumento da dificuldade para a execução da obra (ZUQUETTE, 1987). Por outro lado, declividades muito baixas podem reduzir a velocidade de escoamento e, desse modo, aumentar a infiltração e, conseqüentemente, a taxa de percolação.

Deste modo, segundo ZUQUETTE (1987) e McBEAN et al. (1995), a faixa de declividade ideal situa-se entre 2 e 5%. De acordo com os citados autores, declividades abaixo de 2 – 3% não são indicadas pois irregularidades existentes na superfície do solo passam a atuar como “sifões” facilitando a infiltração da água no solo e, também, dificultam o escoamento da água fazendo com que a mesma permaneça estagnada no perfil do solo. Tal acúmulo produz uma “mancha” ao redor da fonte poluidora ao invés de uma frente que evolui para os pontos mais baixos. Já declividades acima de 5% implicam em maior velocidade de escoamento da água, o que resulta em maior erodibilidade do solo. Para ZUQUETTE (op. cit.), terrenos com declividades de até 10% podem ser utilizados.

Observa-se, ainda, que em superfícies mais suaves os solos são mais profundos e apresentam, em geral, nítida diferenciação entre os horizontes principais. Já nas encostas mais íngremes, apresentam-se mais rasos com menor diferenciação entre os horizontes, devido ao acentuado escoamento superficial da água que favorece a remoção do material edafizado (GUERRA & CUNHA, 1996).

3.3.3. Geologia/hidrogeologia

O contexto geológico/hidrogeológico no qual se insere um aterro de resíduos sólidos deve ser favorável e não solicitado. Seu papel é o de constituir uma barreira de segurança passiva; ou seja, é a garantia da instalação, ainda que essa seja desenvolvida de tal maneira que a barreira não seja solicitada. Este

cuidado visa a compatibilidade do empreendimento com o meio natural, garantindo uma alta proteção ao meio ambiente.

De acordo com DÖRHÖFER & SIEBERT (1998), os principais requisitos para um bom funcionamento a longo prazo de uma barreira geológica, são:

- baixa permeabilidade;
- baixa porosidade efetiva;
- grande espessura;
- alta capacidade de retenção natural de substâncias perigosas.

Segundo os citados autores, apenas rochas argilosas coesas apresentam estas propriedades. Eles observam, ainda, que, embora a análise do cenário geológico deva envolver todo o sistema existente e não apenas parâmetros individuais, quando a espessura da unidade não é suficiente ocorre um rápido esgotamento de sua capacidade de retenção e pode haver então contaminação da água subterrânea. Assim, a espessura da barreira geológica torna-se um fator decisivo na minimização da contaminação da água subterrânea e, segundo estes autores, é mais importante que o fator permeabilidade já que só se verifica uma redução eficiente da taxa de infiltração em permeabilidades iguais ou inferiores a 1×10^{-8} m/s.

Para LEE & JONES-LEE (1998), entretanto, estratos geológicos espessos e com baixa permeabilidade ($< 10^{-7}$ cm/s) podem prevenir a contaminação das águas subterrâneas por longos períodos mas não a evitam. De acordo com estes autores, um erro muito comum é afirmar que camadas com permeabilidades iguais ou menores que 10^{-8} cm/s protegem mais a água subterrânea da contaminação do chorume do que aquelas com permeabilidades de 10^{-7} cm/s. DANIEL⁴ e GRAY⁵ apud LEE & JONES-LEE (1998) demonstraram que o transporte de poluentes devido a difusão, em argilas compactadas, começa a dominar quando a permeabilidade encontra-se próxima a 10^{-7} cm/s e que, tanto em permeabilidades de 10^{-7} cm/s quanto de 10^{-9} cm/s, a taxa de transporte de poluentes através da camada argilosa é de cerca de 2,5 cm/ano. Outro problema apontado pelos autores é a existência de fendas, lentes de areia e/ou áreas de maior

⁴ DANIEL, D. (1990). A critical factors in soils design for covers. In: US EPA seminars – Design and Constrution of RCRA/CERCLA Final Covers, US EPA Office of Research and Development, Washington, D.C. CERL 90-540.

⁵ GRAY, D. H. (1988). A diffusion as a transporte process in fine-grained barrier materials. Geotechnical News, 6 (2), june.

permeabilidade que podem levar a uma taxa de percolação do chorume muito maior que a determinada com base na permeabilidade média da unidade.

De acordo com LEE & JONES-LEE (1998), mais importante que a espessura do material localizado entre o aterro e o aquífero sotoposto é a verificação da existência ou não de uma conexão hidráulica entre as duas unidades, ou seja, é preciso saber se há alguma descontinuidade que possa servir de via preferencial ao transporte de contaminantes em direção às águas subterrâneas. Uma maneira de se saber se o aquífero investigado está hidraulicamente conectado às camadas superiores e que é citada pelos autores, é a utilização de isótopos para datar a água subterrânea. Se esta for relativamente nova quando comparada a idade obtida com base na taxa de percolação que se esperava, é óbvio que essa conexão existe. De acordo com LEITE (1995), a existência de descontinuidades intensifica bastante o transporte de soluções por advecção, dispersão e difusão e as estruturas que devem ser observadas são as falhas, as fraturas, as fendas ou cavas de dissolução em rochas de origem química, o acamamento e a foliação. A presença de diques também merece muita atenção devido ao sistema de fraturas que essas intrusivas costumam apresentar.

Assim, segundo LEE & JONES-LEE (1998), as áreas potencialmente mais adequadas para a instalação de um aterro são aquelas onde não há água subterrânea ou esta é naturalmente de má qualidade e, portanto, não utilizada, e também os locais onde não existe conexão hidráulica entre a base do aterro e o aquífero inferior.

Para ZUQUETTE (1993) apud SARAIVA & RODRIGUES (1994), coeficientes de permeabilidade iguais ou menores que 10^{-4} cm/s e substrato rochoso situado a profundidades maiores que 15 m são favoráveis a implantação de um aterro.

A Tabela 01 apresenta os valores estabelecidos por alguns órgãos para o coeficiente de permeabilidade e para a espessura mínima do meio contada a partir da base da instalação.

Quanto à profundidade do lençol freático, muitos pesquisadores consideram-na de grande importância pois representa a distância que o contaminante terá que percorrer até atingir a zona saturada. Segundo LEITE (1995), quando o material inconsolidado presente na área apresenta-se adequado à retenção de contaminantes, é recomendável que o nível da água esteja a 20 m

TABELA 01. Permeabilidades e espessuras propostas para a camada subjacente ao aterro.

Fonte	Coefficiente de permeabilidade	Espessura mínima do meio
Brasil ⁽¹⁾	1×10^{-5} cm/s	1,5 m (resíduos não perigosos)
França ⁽²⁾	1×10^{-7} cm/s	5,0 m (resíduos perigosos)
Comunidade Européia ⁽³⁾	1×10^{-7} cm/s	5,0 m (resíduos perigosos)
	1×10^{-7} cm/s	1,0 m (resíduos não perigosos)
	1×10^{-5} cm/s	1,0 m (resíduos inertes)
Canadá ⁽⁴⁾	1×10^{-6} cm/s	2,0 m (resíduos não perigosos)
Estados Unidos da América ⁽⁵⁾	1×10^{-7} cm/s	1,5 m (resíduos domésticos)

(1) NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação, 1997.

(2) Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1998.

(3) Commission of the european communities – proposal for a council directive on the landfill of waste, 1997.

(4) Ministry of environment, lands and parks, 1988.

(5) US EPA (1991) apud Lee & Jones-Lee, 1998.

de profundidade. Para ZUQUETTE (1987), é aconselhável que o nível da água esteja a pelo menos 15 m da base do aterro. LEE & JONES-LEE (1998) observam que aterros localizados em áreas com lençol freático pouco profundo podem desenvolver o chamado gradiente reverso onde a água subterrânea atravessa a camada argilosa (*liner*) e atinge os resíduos sólidos. Segundo estes autores, se este gradiente for maior que o transporte de contaminantes por difusão, então a água subterrânea pode ser protegida da contaminação pelo chorume; entretanto, para isso, seria preciso que o gradiente reverso fosse mantido por tanto tempo quanto os resíduos sólidos constituíssem um perigo potencial.

Outro problema associado ao nível do lençol freático é a variação deste. De acordo com CETESB (1993), grandes variações no nível do lençol freático podem ocasionar a ruptura hidráulica dos solos, ou seja, o solo perde a resistência e a estabilidade devido às pressões de percolação da água. Conforme a citada fonte, argilas plásticas bem compactadas são muito resistentes a esse fenômeno mas

ele pode ocorrer em aterros quando a superfície do lençol freático intercepta os taludes de jusante ou, então, quando uma linha de fluxo do percolado encontra uma tubulação de drenagem com superfície de contato não protegida. LEITE (1995) observa ainda que quando o nível da água atinge profundidades inferiores às estabelecidas no nível mínimo, pode ocorrer diluição dos compostos que se encontravam na zona não saturada, causando a contaminação do lençol. De acordo com a autora, solos não adequados à retenção de contaminantes com espessura inferior a 10 m e nível da água inferior a 40 m não devem apresentar flutuações superiores a 5 m.

A Tabela 02 apresenta alguns valores propostos para a distância entre a superfície do terreno e o nível máximo do lençol freático nos períodos de maior elevação.

TABELA 02. Distâncias mínimas entre a base do aterro e o nível do lençol freático na estação chuvosa.

Fonte	Distância (m)
Brasil ⁽¹⁾	1,5
Estados Unidos da América ⁽²⁾	1,5
Canadá ⁽³⁾	1,2
Bolívia ⁽⁴⁾	1,5

(1) NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação, 1997.

(2) US EPA (1991) apud Lee & Jones-Lee, 1998.

(3) Ministry of environment, lands and parks, 1988.

(4) Norma Boliviana de Resíduos Sólidos NB 757, apud Valeriano & Escalera (1998).

De acordo com LEE & JONES-LEE (1998), outro aspecto de grande importância e que deve ser considerado, é a presença de poços tubulares próximos ao local do aterro já que estes, muitas vezes, atuam como condutores no transporte de contaminantes de um aquífero superior para um subjacente. O fato dos poços serem revestidos com materiais selantes como bentonita não diminui a importância dos mesmos já que, em algum momento, esses materiais se

deteriorarão, podendo, então, ser restabelecida a conexão hidráulica entre os aquíferos.

3.3.4. Água superficial

De acordo com BASAGAOGLU et al. (1997), a água superficial, em geral, constitui uma fonte de água para infiltração e subsequente percolação, além de, no caso de inundações, poder atingir o local de disposição dos resíduos. Muito cuidado deve ser tomado, também, para que o aterro não contamine as águas superficiais próximas ao local de disposição. Segundo LEE & JONES-LEE (1998), o escoamento superficial das águas pluviais e o ar podem transportar material do aterro para o corpo d'água localizado próximo a ele. Para estes autores, se o projeto e a operação de um aterro garantissem, realmente, proteção total ao meio ambiente e ao homem por tempo indeterminado, não haveria a necessidade de se considerar fatores como proximidade a corpos de água superficiais.

CETESB (1993) considera que deve ser observada uma distância mínima de 200 m entre o aterro e o corpo d'água. Para LEITE (1995), a distância mínima do aterro ao corpo d'água não deve ser inferior a 300 m. Já ZUQUETTE (1993) apud SARAIVA & RODRIGUES (1994), considera como favorável distâncias maiores que 500 m. O citado autor observa, ainda, que aterros não devem ser localizados em áreas sujeitas a inundação e classifica como restritivas áreas que apresentem TR menores que 20 anos.

A Tabela 03 apresenta as distâncias mínimas recomendadas por alguns países.

3.3.5. Uso e ocupação do solo

LEE & JONES-LEE (1998) consideram de fundamental importância a observação de áreas (*buffers*) adequadas no entorno do aterro, de maneira que os impactos adversos oriundos da construção e operação do mesmo, tais como odor, espalhamento de lixo e poeira, dentre outros, não ultrapassem estes limites. A magnitude destas áreas depende das características da região, entretanto, para a maioria dos casos, *buffers* mínimos de 1,5 km (preferencialmente 3,0 km) entre o local de deposição dos resíduos e as propriedades adjacentes são recomendados

TABELA 03. Distâncias mínimas (*buffer*) entre um aterro e um corpo de água superficial.

Fonte		Distância
Brasil ⁽¹⁾		200 m
Estados Unidos da América	Wyoming ⁽²⁾	Mananciais – 305 m Lago ou lagoa perene – 305 m Lagoa intermitente – 91 m Rio ou córrego perene – 91 m
	Novo México ⁽³⁾	61 m
	Georgia ⁽⁴⁾	Mananciais – 3.220 m Rios perenes – 30 m
Comunidade Européia ⁽⁵⁾		500 m de qualquer corpo d'água
Canadá ⁽⁶⁾		Mananciais – 300 m Outros corpos d'água – 100 m
Bolívia ⁽⁷⁾		500 m de qualquer corpo d'água

(1) NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação, 1997.

(2) Wyoming environmental quality act, 1997.

(3) Davis, 1996.

(4) Department of natural resources, 1997.

(5) Commission of the european communities – proposal for a council directive on the landfill of waste, 1997.

(6) Ministry of environment, lands and parks, 1988.

(7) Norma Boliviana de Residuos Sólidos NB 757, apud Valeriano & Escalera (1998).

pelos citados autores, com base em suas experiências profissionais. Outro problema associado à proximidade a aterros e apontado por LEE & JONES-LEE (1998) é a queda do valor econômico das propriedades da região, mesmo daquelas situadas a vários quilômetros do aterro.

De acordo com LOBER (1995), a síndrome de NIMBY (não em meu quintal) associada à localização de aterros sanitários tem várias implicações empíricas. Uma das principais é a relação entre a distância em que vivem os habitantes do aterro e o grau de oposição destes ao mesmo, ou seja, a percepção do custo/benefício do aterro por parte dos habitantes (oposição) decresce com a

distância. Segundo modelo desenvolvido por LOBER & GREEN⁶ apud LOBER (1995) para avaliar o efeito que a distância tem nas atitudes do público em relação a localização de um centro de reciclagem, distâncias iguais a 0,8 km resultam em oposições de 25% da população envolvida e distâncias de 1,6 km implicam em 18% de oposição. Os autores consideram oposições menores que 25% como aceitáveis.

Para LOBER (op. cit.), outras variáveis espaciais, porém assimétricas, também podem influenciar na atitude dos moradores envolvidos. Por exemplo, uma pessoa que more em uma estrada utilizada para acessar o aterro ou que tenha uma visão dele pode ter uma percepção diferente de uma outra pessoa que viva a uma mesma distância do aterro mas que não tenha esse contato visual. Outras variáveis que influenciam os indivíduos envolvidos são sua confiança no grupo responsável pelo projeto, sua percepção da necessidade deste e sua familiaridade com a tecnologia utilizada.

Distâncias mínimas entre um aterro e determinados tipos de ocupação humana são propostas por diferentes países e mostradas na Tabela 04.

A observação do tipo de vegetação presente na área é, também, um aspecto importante que deve ser considerado. De acordo com VALERIANO & ESCALERA (1998), é recomendável que um aterro seja localizado em áreas que apresentem uma porcentagem inferior a 40% de vegetação arbustiva.

Segundo GREY-OWEN SOUND WASTE MANAGEMENT DEPARTMENT (1997), a qualidade agrícola dos solos também deve ser considerada. Assim, áreas com solos de qualidade inferior devem ser as preferidas.

3.4. O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Segundo PACE & SAVAGE (1994), existem dois tipos de sistemas computacionais que podem ser utilizados em uma análise ambiental: o sistema simples e o integrado. No sistema simples, os dados coletados são analisados separadamente. Já no sistema integrado, que contém alguma capacidade de administrar os dados, há um acoplamento das diversas porções do sistema. Um

⁶ LOBER, D. J.; GREEN, D. (1994). NIMBY or NIABY: a logit model of public opposition. *Journal of Environmental Management*, 40: 33-50.

TABELA 04. Distâncias mínimas (*buffer*) propostas entre um aterro e alguns tipos de ocupação humana.

Fonte		Tipo de ocupação	Distâncias
Brasil ⁽¹⁾		Núcleos populacionais	500 m
França ⁽²⁾		Residências, áreas de expansão urbana e estabelecimentos públicos	200 m (aterros de resíduos perigosos)
Comunidade europeia ⁽³⁾		Áreas urbanas, de recreação e agrícolas	500 m no caso de aterros sanitários e 2.000 m para aterros de resíduos perigosos
Estados Unidos da América	Wyoming ⁽⁴⁾	Residências, escolas e hospitais	300 m
	Carolina do Sul ⁽⁵⁾		305 m
Canadá ⁽⁶⁾		Residências e estabelecimentos públicos	300 m

(1) NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação, 1997.

(2) Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1998.

(3) Commission of the european communities – proposal for a council directive on the landfill of waste, 1997.

(4) Wyoming environmental quality act, 1997.

(5) Department of health and environmental control, 1998.

(6) Ministry of environment, lands and parks, 1988.

tipo relativamente recente de sistema integrado é o SIG - Sistema de Informações Geográficas. O SIG é um sistema que permite obter, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar os dados espacialmente. Ele se diferencia de outros sistemas de informação por causa da incorporação de atributos geográficos na base de dados. Os dados dentro do SIG são agrupados por temas e armazenados como camadas georeferenciadas. Como mostra a Figura 1, cada camada de dados pertence a um tema e inclui o tipo de mapa característico

(pontos, linhas, e áreas). O atributo base de dados associado a este mapa característico inclui localização espacial dos dados (isto é, latitude e longitude), atributos dos dados e topologia.

FIGURA 01. Exemplos de camadas temáticas do SIG.

Fonte: PACE & SAVAGE (1994).

JAGA et al. (1993) salientam que o SIG é um sistema que permite a integração de dados espaciais e não espaciais adquiridos em diferentes escalas, tempos, e formatos. Seu uso facilita a simulação de diferentes estratégias, o que aumenta, evidentemente, a possibilidade de se encontrar soluções efetivas.

Para SOUZA (1999), com o desenvolvimento dos SIGs, analistas ambientais aumentaram suas possibilidades de dispor de sistemas de informações nos quais os dados são mais acessíveis, mais facilmente combinados e permitem uma flexibilidade de modificações; no entanto, quando se manipulam dados de diferentes fontes, escalas e resoluções (no caso de SIGs tem-se ainda a questão temporal), não se tem absoluta clareza do que ocorre com o produto final, ou seja, qual o nível de confiabilidade de uma informação gerada a partir de vários conjuntos de dados.

De acordo com ANTENUCCI et al. (1991), a formação de uma base de dados é a etapa mais onerosa, a que consome mais tempo, e a mais problemática no processo de implantação de um SIG.

Há dois tipos fundamentais de SIG, definidos de acordo com os diferentes métodos de armazenamento de informações e representação espacial: o *vector* e o *raster*.

Segundo QUEIROZ (1996), o modelo vetorial se caracteriza pela localização precisa dos objetos geográficos através de coordenadas, sendo estes representados por pontos, linhas ou polígonos. Suas principais vantagens são a excelente precisão matemática, fazendo com que os contornos dos objetos sejam bem definidos, e a economia de espaço para armazenamento de informações. Já no formato *raster*, o espaço geográfico é dividido segundo um sistema de células regulares, normalmente quadradas (*pixels*), sendo o conteúdo de cada célula descrito pelo banco de dados. Isto significa que a informação geográfica contínua no espaço é discretizada, perdendo em exatidão e detalhes, mas ganhando em facilidade de manipulação no ambiente computacional. A principal vantagem deste modelo é a sua capacidade de estimar e simular cenários através de sobreposições de mapas e combinações matemáticas dos dados em células múltiplas. Suas grandes desvantagens são o tamanho dos arquivos gerados, tornando inviável sua utilização para áreas extensas, e a baixa capacidade de trabalho com banco de dados do tipo relacional para representação espacial de atributos adicionais.

SOUZA (1999) observa que dentre as limitações da análise em *overlays*, destaca-se a capacidade do ser humano em avaliar simultaneamente diversos fatores. De acordo com o citado autor, através de experiências, a psicologia chegou ao chamado número de Miller, o qual estabelece que uma pessoa normal consegue avaliar simultaneamente um número em torno de sete fatores (7 ± 2). Assim, a confrontação de várias camadas de informação (*layers*) se torna muito difícil quando mais de nove fatores estão envolvidos e, como a decisão final cabe ao homem, e não à máquina, mesmo com a grande capacidade dos computadores para análise simultânea de dados, a limitação expressa pelo número de Miller permanece.

O SIG/software Idrisi, desenvolvido pela Clark University Graduate School of Geography, Massachussets, baseia-se principalmente na forma raster de

representação, embora possua, também, alguma competência para trabalhar dados *vector*. Tal fato atribui a este *software* grande capacidade analítica quando trabalha-se com espaços contínuos e o torna bastante adequado para avaliar certas questões ambientais, tais como variações na vegetação e erosão do solo.

Quanto ao tratamento dos dados, muitos SIGs utilizam a lógica Booleana (verdadeiro/falso) para a separação de dados geo-referenciados em classes distintas. De acordo com CHARNPRATHEEP et al. (1997), este sistema resulta em perda de informação pois fatos imprecisos, tais como fenômenos naturais que não apresentam limites nítidos mas sim progressivos e a percepção humana de sistemas espaciais, por exemplo, são entendidos como fatos binários precisamente definidos. Conforme os autores, o conceito e a metodologia utilizados pela teoria fuzzy mostram-se muito mais adequados à manipulação dessas imprecisões espaciais. Em estudo realizado para seleção preliminar de áreas destinadas a disposição de resíduos perigosos, os autores observaram que a utilização da lógica binária resultou em um descarte de 99,8% da área de estudo, enquanto que o modelo fuzzy descartou apenas 64,2% (diferença de 35,6% entre os dois).

3.4.1. A utilização do SIG em processos de seleção de áreas

Segundo LANE & McDONALD (1983), o sucesso de um processo de seleção de áreas está relacionado à técnica utilizada para avaliar a adequação de todas as áreas envolvidas e selecionar um número limitado de locais para avaliações mais detalhadas. Desta forma, conforme os mesmos autores, uma técnica eficiente deve avaliar, de um modo sistemático e imparcial, toda a região estudada; estabelecer claramente as adequações relativas das áreas; ser prática e considerar as informações disponíveis (como, por exemplo, em agências públicas e firmas particulares); e, principalmente, apresentar de forma clara e objetiva a análise desenvolvida e os resultados obtidos.

De acordo com HUSSEY et al. (1996), o SIG é uma ferramenta muito valiosa na administração e análise de dados espaciais e é bastante utilizado em processos de seleção de locais quando as seguintes condições são satisfeitas: as características do local adequado para um empreendimento específico são definidas de modo objetivo; os fatores utilizados descrevem estas características;

e os dados já existem ou podem ser coletados para cada fator, em toda a área de estudo.

LINDQUIST⁷ apud KAO & LIN (1996) ressalta que o uso do SIG na seleção de áreas não apenas aumenta a objetividade e flexibilidade do processo, mas também garante que um grande número de dados espaciais sejam processados em um tempo menor.

De acordo com a literatura (SIDDIQUI et al., 1996; GREY-OWEN SOUND WASTE MANAGEMENT DEPARTMENT, 1997; CHARNPRATHEEP et al., 1997), um processo de seleção de locais adequados para a instalação de um aterro pode ser dividido em duas etapas principais: (i) identificação de áreas potenciais através de uma seleção preliminar que utilize critérios que excluam áreas ambientalmente sensíveis ou indesejáveis, e (ii) avaliação de suas adequações baseada na determinação do impacto ambiental, no projeto técnico e na comparação de custos. Segundo CHARNPRATHEEP et al. (1997), critérios e metodologias utilizados para a seleção inicial devem ser pragmáticos de maneira que áreas com significância social e ambiental sejam excluídas sem remover um número grande de áreas tecnicamente vantajosas do processo.

KAO & LIN (1996) salientam que com a eliminação de áreas claramente inadequadas reduz-se significativamente o esforço necessário para coletar e processar informações adicionais para implementar análises posteriores.

KAO et al. (1996) citam que as principais fontes de informação utilizadas em estudos de seleção de áreas para aterros são normas locais e estrangeiras, estudos de caso, relatórios, e literaturas que forneçam orientação para a localização. Os autores dividem estas informações em quatro categorias distintas:

- essenciais: são aqueles critérios básicos aos quais um aterro deve obedecer;
- secundários: são, também, critérios básicos mas que ainda não estão bem definidos ou não foram propostos inicialmente para aterros;
- recomendados: são aspectos condicionais ou heurísticos sugeridos por alguns pesquisadores ou especialistas mas que ainda não estão incluídos em regulamentos formais;

⁷ LINDQUIST, R. C. (1991). Illinois clean up: using GIS for landfill siting. *Geo. Info. Sys.* Feb. p. 30-35.

- particulares: são aqueles aplicados a uma área específica ou extraídos de estudos de casos anteriores e que não podem ser incluídos em nenhuma das três classes anteriores.

Segundo KARTHIKEYAN et al. (1996), embora a precisão dos resultados fornecidos pelo SIG esteja vinculada a exatidão dos dados de entrada, isto não compromete seriamente sua utilidade como ferramenta de separação. Como investigações de campo detalhadas devem ser realizadas após a seleção, há pouco perigo que áreas erroneamente identificadas como adequadas sejam posteriormente escolhidas para a implantação do aterro. A grande desvantagem dessa proposta é provavelmente o descarte incorreto de locais qualificados de considerações posteriores.

3.4.2. Fatores envolvidos na escolha da área

De acordo com SOUZA (1999), a utilização de múltiplos fatores influi de forma positiva em processos de análise e tomada de decisão quando os fatores envolvidos são simples e suficientemente abrangentes. Por outro lado, a utilização de muitos fatores geralmente impossibilita o encontro de uma solução que seja, ao mesmo tempo, ótima para todos eles. Assim, os fatores devem ser escolhidos com cuidado para que as soluções produzidas possam ser bem compreendidas pelo responsável pela tomada de decisão (decisor).

KAO & LIN (1996) observam ainda que, antes que uma análise espacial seja iniciada, os fatores envolvidos devem ser avaliados com relação à suas aplicabilidades no processo.

Em estudo realizado visando a seleção de áreas para aterros sanitários, SIDDIQUI et al. (1996) utilizaram os fatores geologia/hidrogeologia, uso do solo e distância dos centros geradores dos resíduos (cidades) para representar, respectivamente, as questões técnico-ambientais, sociais e econômicas que, segundo os autores, devem ser consideradas.

Já KARTHIKEYAN et al. (1996), em trabalho desenvolvido para localizar aterro destinado à disposição de lodos provenientes de estações de tratamento de água, vincularam a adequação de cada área à sua capacidade de prevenir a contaminação das águas subterrâneas por constituintes do chorume. Assim, os fatores considerados pelos citados autores foram distância de estradas e de

corpos d'água (fatores eliminatórios), uso do solo, topografia, substrato rochoso e solos.

CHARNPRATHEEP et al. (1997), devido a limitação de dados disponíveis na região por eles estudada, consideraram para a seleção preliminar de locais destinados a disposição de resíduos sólidos perigosos os seguintes fatores: distância entre as áreas avaliadas e construções especiais (poços d'água e escolas, por exemplo); distância de corpos de água superficial e de reservas florestais e áreas agrícolas; distância de estradas e topografia. Os autores observam que a consideração da distância entre a área e construções, rios, florestas e áreas agrícolas serve para minimizar potenciais riscos à saúde humana ou contaminações. As estradas foram consideradas porque suas distâncias às áreas atendem a diferentes propósitos, tais como acesso e estética. Já o fator topografia encontra-se relacionado à estabilidade do aterro, ao controle hidrológico (entrada e saída), e à existência de áreas sujeitas a inundação ou áreas de recarga para os aquíferos. Os citados autores recomendam, ainda, que, quando possível, fatores como hidrogeologia, custo com a aquisição do terreno e verba disponível para o empreendimento devem ser utilizados.

Segundo KAO & LIN (1996), vários fatores devem ser avaliados quando pretende-se localizar um aterro, entretanto, é preciso observar que uma área obtida através de um SIG baseado na forma *raster* de representação é expressa por um conjunto de células agregadas mas nem sempre compactas. Desta forma, de acordo com os autores, embora não haja uma relação direta entre compactidade e os demais fatores utilizados em uma análise de localização, esta influencia na escolha final da área, já que células não conectadas ou mesmo com um contorno inadequado são impróprias para este propósito, e deve, portanto, ser considerada. Os demais fatores considerados pelos autores foram hidrogeologia, água superficial, valor da área, infra-estrutura, declividade, desenvolvimento urbano e áreas sensíveis ou críticas.

No estudo desenvolvido por BASAGAOGLU et al. (1997), os fatores utilizados foram geologia/hidrogeologia, água superficial, topografia, tipo de solo, infra-estrutura, ecologia, distância de construções, e atividade sísmica. Segundo os autores, os rios foram isolados por uma faixa de proteção que variou de acordo com a taxa de escoamento médio de cada um, de maneira a impedir que o aterro fosse localizado em áreas sujeitas a inundação. Com relação a topografia, foram

consideradas mais adequadas as áreas com declividades moderadas já que pequenas declividades podem reduzir a velocidade de escoamento, aumentar a infiltração e, conseqüentemente, a taxa de percolação, e altas declividades podem causar problemas de estabilidade e de erosão. Já o fator infra-estrutura foi utilizado tanto por razões econômicas (distância máxima) quanto estéticas (distância mínima); assim, apenas as áreas situadas dentro dos limites mínimo e máximo estabelecidos foram consideradas aceitáveis.

KATSAMAKI et al. (1996), em estudo desenvolvido na cidade de Chania - Ilha de Creta - decidiram que, para a escolha de potenciais áreas, deveriam ser considerados o impacto ambiental na área, o custo com o aterro e a aceitação por parte da sociedade envolvida. Partindo desta premissa, os autores estabeleceram todos os possíveis fatores que influenciam na seleção da área e que são os seguintes: hidrogeologia, grau de isolamento e de visibilidade da área, distância de área residenciais, uso do solo, infra-estrutura, topografia, solo, custo com a obtenção da área, distância do centro gerador dos resíduos, posse do terreno (particular ou público), e aceitação pública.

No Anexo A, os fatores utilizados por cada autor são apresentados de forma mais detalhada.

3.5. PONDERAÇÃO DE FATORES

A atribuição de valores numéricos às condições verificadas em uma dada área é denominada ponderação dos fatores. O objetivo deste processo é facilitar a identificação de áreas adequadas ao empreendimento proposto, considerando-se que as informações trabalhadas não são igualmente importantes.

Para AGUIAR (1997), a ponderação nada mais é do que a medida da qualidade do meio físico e é interessante pelas seguintes razões:

- geralmente informa sobre a qualidade do meio tanto do ponto de vista global quanto de cada um dos recursos ou variáveis objeto do inventário;
- permite comparar entre si os diferentes pontos da área e verificar se a medida pode ser expressa em unidades de recursos comparáveis uns aos outros;

- a ponderação do meio no processo de planejamento serve, fundamentalmente, como etapa prévia que facilita a fase seguinte de prognóstico, sobretudo no que diz respeito à determinação de impactos.

O mesmo autor ressalta que nem todos os recursos inventariados devem ser objeto de ponderação, mas somente aqueles que intervêm no planejamento porque são susceptíveis a receber impactos. No caso de variáveis qualitativas ou dificilmente quantificáveis, o problema da ponderação torna-se mais complicado. Logicamente, as dificuldades aumentam dos recursos quantificáveis para os não quantificáveis e, dentro desses, dos de apreciação objetiva aos subjetivos. A ponderação qualitativa, portanto, deve ser a mais objetiva possível, simples e de fácil compreensão.

De acordo com BANA & COSTA⁸ apud NORONHA (1998), existem duas formas distintas de julgamento de valor: o absoluto e o relativo. O julgamento absoluto está relacionado às noções de bom e ruim e o relativo encontra-se associado a melhor e pior. Conforme os citados autores, na avaliação absoluta procura-se determinar o valor intrínseco de um determinado elemento, independentemente de qualquer outro, comparando-o com padrões (normas) de referência preestabelecidos. Já na avaliação relativa, procura-se estabelecer o valor de cada elemento em relação a cada um dos outros, ou seja, o que se faz é comparar os elementos entre si e, assim, escolher o melhor deles, ou ordená-los de forma decrescente, do melhor para o pior, de acordo com o julgamento do decisor.

Segundo KAO & LIN (1996), balancear essas importâncias pode ser difícil quando múltiplos fatores são considerados. Assim, a determinação dos pesos é muitas vezes controversa e ocasionalmente subjetiva.

Diferentes métodos têm sido desenvolvidos para auxiliar nos processos de ponderação. De acordo com DAVIES (1999), os principais métodos de ponderação são os seguintes:

- Classificação e categorização (*Ranking and Categorization Methods*): Na classificação o decisor simplesmente classifica os fatores segundo suas importâncias, ordenando-os do mais para o menos importante. Ao fator menos importante é atribuído o valor 1, ao fator seguinte 2, e assim por diante. A

⁸ BANA E COSTA, C.A. (1995). Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, actores e acções. Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão, ENE, UFSC, Florianópolis.

categorização é ainda menos refinada. Os decisores apenas classificam os fatores em baixa, média ou alta importância ou ainda em inadequado, adequado e bastante adequado. Segundo VOOGD (1983) apud DAVIES (1999), quanto maior for o número de fatores considerados, menos adequados tornam-se estes métodos.

- *Taxação (Rating Methods)*: a taxação é um método fácil e bastante utilizado. Os decisores avaliam, dentro de uma determinada escala, a importância de cada elemento. Isto pode ser feito utilizando-se qualquer escala, 0 a 10 por exemplo, ou atribuindo-se um valor arbitrário a qualquer um dos fatores (geralmente ao menos importante) e, usando-se este valor como referência, são dados pesos aos demais fatores.
- *Determinação de relações (Ratio Questioning Methods)*: todos os elementos envolvidos são analisados dois a dois para o estabelecimento da importância relativa de cada um. Os decisores do processo julgam verbalmente essa importância e estabelecem o quanto um é superior ao outro. Essas comparações são, então, convertidas em valores numéricos com base nos indicadores de superioridade. Dentre as variações existentes desse método, destaca-se o *Pairwise Comparison*, desenvolvido por Saaty (1977).
- *Trade-off Methods*: neste método, as alternativas existentes em uma determinada situação (compostas, cada uma delas, por mais de um fator) são comparadas duas a duas e a relação entre os pesos é definida com base na importância relativa de cada alternativa. Por exemplo, considerando-se o problema seleção de áreas para localização de um Shopping Center em uma cidade, é possível a combinação de diferentes distâncias do centro da cidade com diferentes tamanhos de área. Cada uma dessas combinações representa uma alternativa. O maior problema deste método é que, em um contexto real, existem muitos fatores envolvidos e muitas alternativas possíveis, o que resulta em um grande número de comparações e exige uma grande demanda de tempo para isso.

CARVER⁹ apud DAVIES (1999) observa que, se no processo houver o envolvimento de pessoas não especializadas (participação do público, por exemplo), a utilização de métodos mais simples é mais indicada.

⁹ CARVER, S. J. (1996). Open spatial decision making on the internet. Leeds: School of Geography, University of Leeds. URL: <http://www.ccg.leeds.ac.uk/mce/mce-home.htm>

Nos últimos anos, diversos estudos relacionados à seleção de áreas para a localização de aterros de resíduos sólidos foram desenvolvidos. SIDDIQUI et al. (1996), objetivando demonstrar o efeito produzido pela variação da importância relativa de três fatores considerados para localizar um aterro sanitário, observaram que embora os três cenários resultantes fossem diferentes - refletindo a ponderação utilizada - havia áreas classificadas como muito adequadas comuns a todos eles. Os autores concluíram que as áreas que apresentaram os melhores subfatores para todos os fatores considerados, tiveram também as melhores classificações, independentemente dos pesos atribuídos aos fatores.

No trabalho desenvolvido pela JAAKKO PÖYRY ENGENHARIA LTDA (1992), a ponderação dos temas utilizados baseou-se na hierarquização dos mesmos em relação à sua importância para a seleção da área. A equipe envolvida considerou que os temas, embora diferissem em importância, não deveriam ter pesos muito diferentes. De acordo com a citada fonte, os resultados do processo de seleção indicaram que os pesos dos fatores não interferem no resultado final quando existem áreas que reúnem as melhores características possíveis de cada fator, ou seja, máxima pontuação possível para cada subfator.

Já no estudo desenvolvido por CHARNPRATHEEP et al. (1997), o maior peso, dentre os fatores utilizados por eles, foi atribuído ao grupo construções humanas pois seus elementos devem ser os primeiros a serem protegidos de qualquer efeito adverso. Já o fator topografia recebeu o menor peso porque, segundo os autores, um aterro pode ser projetado de forma a se ajustar a diferentes características do terreno.

KAO & LIN (1996) estabeleceram diferentes pesos para a compactidade de células agregadas e consideraram diferentes combinações de fatores com o objetivo de estudar suas influências na determinação das melhores áreas. Os autores concluíram que, embora o fator compactidade deva ser considerado para garantir que as células selecionadas sejam suficientemente compactas, o peso atribuído a ele deve ser gradualmente ajustado para que os outros fatores envolvidos na escolha da área não sejam negligenciados.

VALERIANO & ESCALERA (1998) consideraram a qualidade das fontes de informação utilizadas, como, por exemplo, a escala e a data de elaboração dos mapas usados, na determinação da importância relativa dos fatores por eles usados.

Já ARAÚJO et al. (1999) consultaram especialistas para que cada um deles atribuísse pesos aos fatores selecionados pelos autores e utilizaram a média dos pesos assim obtidos para ponderar cada fator em seu trabalho.

SOUZA (1999) também baseou-se na opinião de vários especialistas para obter os pesos utilizados em seu trabalho, entretanto, amplas discussões entre a equipe de técnicos resultaram na atribuição de apenas um peso para cada fator considerado.

No estudo desenvolvido por KATSAMAKI et al. (1996) as opiniões de diferentes grupos de pessoas diretamente envolvidas no processo (autoridades locais, pessoas residentes na área urbana onde os resíduos são gerados e pessoas residentes em localidades próximas as potenciais áreas do aterro), obtidas através do preenchimento de questionários, foram utilizadas para ponderar os fatores considerados. As médias dos valores atribuídos a cada um dos fatores foram consideradas pelos autores como os pesos finais.

No processo de localização de aterro sanitário na cidade de Linn County, Estados Unidos da América, a BLUESTEM SOLID WASTE AGENCY (1997), responsável pelo projeto, permitiu o envolvimento do público local em várias etapas do trabalho, inclusive no processo de atribuição de pesos aos fatores considerados. Assim, discussões entre a equipe técnica e um comitê constituído por cidadãos locais resultaram na definição dos pesos utilizados no processo de seleção.

No Anexo A, as ponderações utilizadas por cada autor são apresentadas de forma detalhada.

3.6. A ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para o desenvolvimento do estudo de caso compreende o entorno do município de Ribeirão Preto (S.P.). A seguir, são apresentadas algumas características desta área.

3.6.1. Geologia

Na região de Ribeirão Preto (S.P.), três unidades geológicas merecem destaque e são descritas a seguir.

A Formação Botucatu é constituída por arenitos e é subdividida, litologicamente, em três fácies: a Fácies Torrencial, caracterizada por corpos lenticulares, e descontínuos de arenitos conglomeráticos que ocorrem predominantemente na porção basal; a Fácies Eólica, constituída por arenitos finos a médios, bem selecionados e teor de finos inferior a 7%; e a Fácies Lacustre, que completa o pacote sedimentar, e tem caráter local com pequena extensão e espessura. Esta formação constitui o principal potencial de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e é responsável por grande parte da água subterrânea extraída (DAEE, 1974).

De acordo com SILVA et al. (1985), a permeabilidade da formação varia entre $2,4 \times 10^{-6}$ e $4,5 \times 10^{-5}$ m/s.

Vale observar que, apesar da importância do arenito Botucatu como aquífero, nem sempre ele se apresenta como tal. Em alguns locais a Fácies Eólica, a mais freqüente, quando em contato com os derrames basálticos, apresenta arenitos altamente silicificados. Trabalho desenvolvido por PORTILHO (1988) na região de São Carlos – S.P., constatou a existência de um grande número de pedreiras de arenito Botucatu silicificado apresentando extrema dureza e resistência, sendo excelentes materiais de construção.

A Formação Serra Geral, segundo REBOUÇAS (1976), é constituída por uma sucessão de derrames basálticos de coloração verde escura sendo que, geralmente, em cada derrame, pode-se esperar dois tipos texturais principais. Nas porções basal e superficial dos derrames ocorrem basaltos vesiculares ou amigdalóides, enquanto que basaltos compactos microcristalinos constituem a porção central. Os vacúolos presentes no topo e na base de cada derrame são quase sempre preenchidos por quartzo ou calcedônia. Conforme AGUIAR (1989), esta formação assenta-se sobre os arenitos da Formação Botucatu e encontra-se recoberta pelo Grupo Bauru e pelos sedimentos cenozóicos.

Já o Grupo Bauru é constituído pelas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. Estas formações são compostas por arenitos com textura variando de muito fina a grosseiros e conglomeráticos.

3.6.2. Hidrogeologia

De acordo com MONTENEGRO (1990), a Bacia Hidrogeológica de Ribeirão Preto é constituída basicamente pela superposição das Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia. Segundo o citado autor, o principal aquífero da região é o Botucatu, naturalmente protegido, em grande parte do seu domínio, pelo basalto do Serra Geral. Apesar dos arenitos Botucatu e Pirambóia serem diferenciados geologicamente, do ponto de vista hidrodinâmico constituem um único sistema aquífero denominado de Aquífero Botucatu.

Acima deste aquífero assenta-se o aquífero Serra Geral, que comporta-se como um aquífero multicamada, apresentando circulação entre os derrames em grande parte do domínio. A existência de diabásios introduzidos nos arenitos compromete a produção do Aquífero Botucatu.

3.6.3. Solos

Segundo PRADO (1993), a classificação taxonômica de solos utilizada nos levantamentos pedológicos do Brasil baseia-se nas características morfológicas e analíticas (químicas, granulométricas e mineralógicas) dos solos e utiliza os horizontes diagnósticos para classificá-los. A seguir são feitas algumas interpretações pedológicas para as classes de solo encontradas na região estudada.

a) Latossolo Roxo

São solos argilosos ou muito argilosos, profundos, friáveis ou muito friáveis, de coloração vermelha escura a bruna avermelhada, que apresentam forte atração magnética, pois o teor de ferro total (Fe_2O_3) varia de 18 a 36% e, nesses solos, o teor de óxido de titânio (TiO_2) é superior a 2,5%. O incremento de argila entre os horizontes A e B é pequeno, portanto o gradiente textural é relativamente baixo (PRADO, 1993).

De acordo com EMBRAPA (2000), a fração argila é constituída por caulinita, gibbsita e teores muito altos de óxidos de ferro. Têm microestrutura granular perfeita, o que confere aos microagregados um comportamento de grãos

de areia. A forma dos poros é uma consequência do empilhamento dos microagregados.

Desenvolvem-se a partir de rochas efusivas básicas, metabasitos e tufitos e são bastante porosos, sendo comum porosidade total da ordem de 50%. São também bem permeáveis mesmo quando muito argilosos. Situam-se em relevo normalmente suave ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%, e apresentam boa resistência à erosão. Possuem grande significado agrícola (OLIVEIRA et al., 1992). De acordo com DAEE (1973), são solos ácidos a moderadamente ácidos.

b) Latossolo Vermelho Escuro

São solos de textura média a argilosa ou muito argilosa, de consistência friável ou muito friável, com baixo gradiente textural (A/B), estrutura fraca e cor vermelha. O teor de óxido de ferro total (Fe_2O_3) varia de 8 a 18% nos solos argilosos ou muito argilosos e é geralmente inferior a 8% nos solos de textura média. A relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ é menor que 3,14 para os solos de textura média. A atração magnética é fraca ou inexistente (PRADO, 1993; OLIVEIRA et al., 1992).

São formados a partir de material de origem diversa, o que lhes confere certa variabilidade nas características morfológicas, especialmente textura e consistência, além de influir nas propriedades químicas. De um modo geral, são solos muito profundos, bem acentuadamente drenados, e apresentam relevo plano a suave ondulado. A grande variação textural, com teores de argila de 16 a 85% no horizonte B, confere a esses solos apreciável disparidade quanto à infiltração e capacidade de retenção de água e de nutrientes. Os latossolos vermelho escuros pouco argilosos apresentam menor resistência à erosão do que os mais argilosos. Constituem uma das mais importantes classes de solos (OLIVEIRA et al., 1992).

Segundo EMBRAPA (2000), nos latossolos vermelho escuro a fração argila é constituída por caulinita, gibbsita e teores altos de óxidos de ferro. Nos solos que possuem textura argilosa, ocorrem poucos grãos de quartzo e minerais opacos e a microestrutura é granular perfeita. Já nos latossolos vermelho escuro de textura média, o quartzo e minerais opacos constituem a fração areia, cujos

grãos são unidos uns aos outros por braços de argila. Não possuem microagregados definidos e seus poros são interconectados.

c) Latossolo Vermelho Amarelo

São solos de textura média ou mais argilosa, profundos, friáveis ou muito friáveis, porosos ou muito porosos, de coloração vermelho-amarelada, a bruno forte e com teores de ferro total que varia de 7 a 11% (nos solos com mais de 35% de argila). Para os solos de textura média, utiliza-se da relação $Al_2O_3/Fe_2O_3 > 3,14$, para diferenciá-los de latossolos vermelho-escuros. É pequeno o incremento de argila entre os horizontes A e B (PRADO, 1993).

São solos bem acentuadamente drenados, com relevo variando de plano a acidentado. Os de textura média, com grande participação de areia, são muito suscetíveis à erosão (OLIVEIRA et al., 1992).

d) Areias Quartzosas

São solos minerais, casualmente orgânicos na superfície, geralmente profundos, muito friáveis, essencialmente quartzosos, com textura arenosa ao longo do perfil em pelo menos 2 metros desde a superfície e virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração grosseira. O máximo de argila vai a 15% quando se tem zero de silte e o máximo deste vai a 30% quando se tem zero de argila (PRADO, 1993; OLIVEIRA et al., 1992).

Como consequência da textura arenosa, apresentam baixa capacidade de retenção de cátions, raramente atingindo, mesmo na camada superficial, mais rica em matéria orgânica, índices superiores a 2 meq/100g de TFSA. Os valores, nas camadas imediatamente abaixo do horizonte superficial, diminuem expressivamente, atingindo menos de 0,5 meq/100g de TFSA. Suas sérias limitações restringem o uso com agricultura, prestando-se mais ao reflorestamento (OLIVEIRA et al., 1992).

Apresentam, também, grande susceptibilidade à erosão (LARACH, 1981).

e) Brunizém Avermelhado

São solos pouco profundos, geralmente argilosos e com teor de silte relativamente elevado. A grande maioria situa-se em relevo forte ondulado e montanhoso; contudo podem ocorrer em relevo suave ondulado e mesmo aplainado (OLIVEIRA et al., 1992).

O material de origem desses solos provém de rochas básicas, gnaisses de caráter básico, calcários e outros materiais ricos em cátions bivalentes. No processamento da formação desses solos, esse caráter é mantido no material originário e do próprio solo onde os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis são elevados, assim como a saturação por bases (OLIVEIRA et al., 1992). A capacidade de troca de cátions é elevada, pois a CTC da fração argila é maior ou igual a 24 cmol(+), após desconto da contribuição da matéria orgânica. A CTC está quase que totalmente preenchida por cálcio, magnésio e potássio; conseqüentemente, o teor de alumínio é zero ou próximo desse valor (PRADO, 1993).

f) Terra Roxa Estruturada

São solos com coloração bruna avermelhada escura, ou vermelho-escura, geralmente profundos, com teores de argila que não variam muito em profundidade, e teores de ferro total superior a 15%. O horizonte B possui estrutura forte ou moderadamente desenvolvida e presença de cerosidade (PRADO, 1993).

Derivam-se de rochas básicas ou ultra-básicas e apresentam textura argilosa ou muito argilosa ao longo do perfil. Apesar de apresentarem alto teor de argila, são bem porosos, sendo comuns valores de porosidade total superiores a 50% (OLIVEIRA et al., 1992).

De acordo com EMBRAPA (2000), a fração argila é constituída predominantemente por caulinita e altos teores de óxidos de ferro. O quartzo e minerais opacos como magnetita e ilmenita constituem a fração areia fina, que encontra-se distribuída aleatoriamente na massa argilosa.

A capacidade de troca de cátions do horizonte B, por definição, é inferior a 24 meq/100g de argila, após o desconto da matéria orgânica. Valores inferiores a 15 meq/100g de argila são os predominantes. Possuem grande importância agrônômica, apesar do risco à erosão acentuado pelos declives dos terrenos (OLIVEIRA et al., 1992).

Segundo LARACH (1981), a baixa resistência à erosão provavelmente deve-se ao fato deste tipo de solo apresentar estrutura em blocos bem desenvolvidos, capazes de se separarem facilmente da massa do solo, contribuindo desta forma, para seu transporte pela energia das águas de enxurrada.

g) Cambissolo

Os cambissolos são derivados dos mais diversos materiais de origem e encontrados sob condições climáticas variadas. Em decorrência, apresentam uma grande diversidade. São solos desde rasos a profundos, com textura variando desde franco-arenosa até muito argilosa, sendo as texturas médias a argilosas mais encontradas. Os teores de silte são, em geral, relativamente elevados. A textura varia muito pouco ao longo do perfil, exceto em alguns solos derivados de sedimentos aluviais (OLIVEIRA et al., 1992).

Possuem capacidade de troca de cátions maior que 13 cmol(+)/kg após o desconto da contribuição da matéria orgânica, relação silte/argila $\geq 0,6$ (textura média) ou $\geq 0,7$ (textura argilosa) e com minerais primários facilmente intemperizáveis na fração areia ($\geq 4\%$) (PRADO, 1993).

h) Solos Hidromórficos

Sob esta denominação estão incluídos todos os solos que se formam nas partes baixas do relevo, com forte influência do lençol freático próximo à superfície, que determina o encharcamento permanente ou quase permanente da área afetada (LARACH, 1981).

Caracterizam-se pela cor escura e forte teor de matéria orgânica (DAEE, 1973).

i) Litossolos

São solos rudimentares, pouco evoluídos, rasos (< 50 cm até o substrato rochoso), com horizonte A assente diretamente sobre a rocha coerente e dura, ou cascalheira espessa, ou sobre horizonte C pouco espesso ou mesmo exíguo Bi. A

textura está intimamente relacionada com o material de origem desses solos. Eles geralmente contêm elevados teores em minerais primários pouco resistentes ao intemperismo e variavelmente blocos de rocha semi-intemperizada de diversos tamanhos. Esses solos apresentam grande diversificação morfológica, sendo também bastante heterogêneos no que se refere aos atributos químicos, físicos e mineralógicos. Ocorrem geralmente em áreas de relevo acidentado (PRADO, 1993).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta tese compreendeu, basicamente, três etapas.

Na primeira etapa foi realizada uma ampla revisão bibliográfica que seguiu os métodos clássicos de leitura e compilação de informações e dados, visando o levantamento de critérios, fatores e ponderações envolvidos em processos de localização de aterros. Para tanto, foram consultados diversos trabalhos e a legislação nacional e estrangeira. Nesta etapa, que serviu de base para o desenvolvimento do trabalho, procurou-se obter o maior número possível de informações.

Na segunda etapa, que correspondeu à estruturação do processo de avaliação de áreas com base na utilização de múltiplos critérios, procurou-se primeiramente identificar os principais elementos de avaliação envolvidos no contexto decisório em questão, o que permitiu a separação destes em eliminatórios e fundamentais. Os fatores eliminatórios foram definidos com base em normas brasileiras e trabalhos técnicos e os fatores considerados fundamentais foram estabelecidos a partir uma análise crítica da bibliografia adquirida. Observa-se que os fatores fundamentais foram subdivididos em subfatores, ou seja, em elementos complementares que auxiliaram na definição dos aspectos considerados essenciais.

Dando continuidade ao trabalho, procurou-se estabelecer a importância relativa de cada descritor em relação aos outros através da ponderação dos mesmos. Tal ponderação foi feita após análise dos dados obtidos em trabalhos afins coletados.

Com a aquisição desses dados, foi iniciada a terceira etapa do trabalho, que se refere à análise espacial da região selecionada para o estudo de caso (entorno de Ribeirão Preto – SP), visando a seleção preliminar de áreas

adequadas a disposição de resíduos sólidos através do sistema de informações geográficas. Esta etapa foi realizada visando a aplicação e discussão dos dados obtidos na etapa anterior.

A seguir, são apresentados de forma detalhada os materiais e métodos utilizados em cada uma das etapas descritas acima.

4.1. ETAPA 1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Para o levantamento e a aquisição de material bibliográfico foi realizada uma ampla pesquisa que compreendeu consultas a revistas especializadas, normas técnicas, trabalhos de pós-graduação, relatórios técnicos e *sites* da internet. Observa-se que algumas informações, citadas em artigos mas não publicadas, foram obtidas através de contatos feitos via *e-mail*.

4.2. ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS E DETERMINAÇÃO DE FATORES E PONDERAÇÕES

Após reunião e análise do material selecionado, procurou-se definir os critérios para o desenvolvimento do estudo de caso, tendo como base orientações contidas na literatura. Os critérios estabelecidos foram os seguintes:

- definição dos objetivos estratégicos (por exemplo: não escolher áreas ambientalmente sensíveis);
- identificação dos critérios eliminatórios gerais;
- identificação dos elementos primários (essenciais) de avaliação;
- reunião de dados e informações disponíveis (mapas e legislação);
- início do processo de seleção com a identificação e exclusão de áreas impróprias ou indesejáveis;
- determinação e aplicação das importâncias (pesos) dos fatores;
- avaliação e classificação das áreas restantes.

Em seguida, passou-se a fase de identificação dos principais fatores envolvidos. A importância deste levantamento relaciona-se a execução precária de

grande parte dos aterros, o que indica a necessidade de se adotar critérios de segurança mais rígidos quanto à localização dos mesmos.

Para tanto, procurou-se definir quais eram os elementos considerados fundamentais e compartilhados por diversos autores pesquisados, observando-se a interpretação de cada autor. Estas informações foram reunidas e os fatores considerados essenciais pela maioria dos autores consultados, foram escolhidos para serem usados nesta tese.

Já a avaliação dos pesos obtidos através da literatura foi realizada observando-se a metodologia utilizada por cada autor para a determinação de seus pesos e as particularidades existentes em cada caso, tais como arranjo dos fatores dentro da hierarquia estabelecida por cada um deles, e observações que influenciaram na ponderação tais como data de elaboração e escala dos mapas utilizados. Estes trabalhos, inicialmente analisados individualmente, passaram em seguida para a fase de comparação com outros trabalhos afins, o que resultou no estabelecimento de semelhanças e diferenças existentes entre eles.

4.3. ETAPA 3 - ESTUDO DE CASO

Para que o estudo de caso pudesse ser inicializado, foram definidas algumas informações preparatórias à análise espacial da região a ser abordada. Estas informações foram as seguintes:

1) Base Cartográfica

A reunião de mapas de representação do meio físico elaborado por órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e mapas elaborados em pesquisas criteriosas desenvolvidas em áreas afins, alguns encontrados na escala 1:50.000 e outros na escala 1:100.000, permitiu a escolha do mapa pedológico 1:100.000 do IAC como base cartográfica para o estudo, o que definiu, inicialmente, os limites da área de pesquisa e a escala dos dados produzidos.

2) Imagem de satélite

A obtenção da imagem de satélite (Landsat - TM, bandas 3, 4 e 5). referente ao uso do solo no ano 1997.

A passagem dos mapas analógicos previamente selecionados para o meio digital foi feita através de digitalização, tendo sido utilizados para isto a mesa Summagraphics Summagrid IV e o *software* Tosca (versão 2.12).

Estes procedimentos permitiram a inicialização do processo de geoprocessamento.

Os arquivos vetoriais foram convertidos para o formato *raster* com o auxílio do SIG/*software* Idrisi (versão 2.0). Para o início do processo de rasterização desses arquivos foi necessário antes definir-se um tamanho único de imagem para a área de estudo, especificando-se a resolução matricial adotada e todos os parâmetros desta imagem.

Os paralelos 7622 e 7674 km e os meridianos 190 e 240 km, em coordenadas UTM, fixados inicialmente como os limites da área, foram alterados, respectivamente, para 7622,010 – 7674,000 km e 190,010 – 236,000 km. Essa mudança, embora pequena, foi necessária para que a área pudesse ser dividida em *pixels* quadrados de 30 m, durante o processo de conversão do formato vector para o raster. A escolha de *pixels* de 30 x 30 m baseou-se no fato desta medida ser a utilizada por imagens de satélite, o que permitiu a utilização posterior destas, e por se entender que o tamanho da célula é um fator bastante importante no processo de análise já que dimensões maiores poderiam ocultar características ambientais significativas.

Estes parâmetros foram aplicados a todos os arquivos e, assim, foi feita a conversão dos mesmos.

4.3.1. MAPAS DIGITAIS

1) Mapa geológico

O mapa geológico digital foi criado a partir do mapa do substrato geológico (escala 1:100.000) elaborado pelo Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

2) Mapas topográfico e de declividades

No arquivo imagem gerado a partir do mapa planialtimétrico (escala 1:50.000) do IBGE, efetuou-se a interpolação das curvas de nível o que permitiu a geração do mapa de declividade. Uma reclassificação das declividades geradas foi realizada posteriormente para criar as faixas de declividade de interesse. Os comandos utilizados foram *Intercon*, *filter*, *surface* e *reclass*.

3) Mapa hidrográfico

Também o mapa digital hidrográfico foi criado a partir do mapa planialtimétrico (escala 1:50.000) do IBGE. Foram considerados os cursos d'água, lagos, lagoas e açudes.

4) Mapa de infra-estrutura

As informações necessárias para a criação do mapa de infra-estrutura foram obtidas a partir do mapa pedológico (escala 1:100.000), folha Ribeirão Preto, do IAC/SP.

Ressalta-se que o termo infra-estrutura empregado nesta tese, relaciona-se apenas à infra-estrutura rodoviária.

5) Mapa do uso do solo

O mapa do uso do solo foi criado a partir das informações fornecidas pela imagem de satélite (1997, Landsat - TM, bandas 3, 4 e 5). A imagem, obtida no INPE com verba da FAPESP, foi gentilmente cedida por PRADO (1999).

6) Mapa pedológico

Utilizou-se o mapa pedológico do IAC (1:100.000) como referência.

7. Mapa distância de núcleos urbanos

Para a criação deste mapa usou-se a imagem de satélite obtida anteriormente.

4.3.2. APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS ELIMINATÓRIOS E TÉCNICOS

Os critérios utilizados foram definidos com base em normas técnicas brasileiras (ABNT/NBR), no Código Florestal, e na literatura especializada. Os operadores de distância e a reclassificação permitiram a exclusão, do processo de seleção, de zonas nas quais a implantação de um aterro não é permitida e/ou indicada, o que resultou em regiões sobre as quais o estudo poderia continuar sendo desenvolvido.

Os operadores de distância calculam distâncias a partir de uma determinada feição e o módulo utilizado para a criação de *buffers* foi *Distance* (localizado em *Analysis/Distance Operators*). As superfícies de distâncias geradas foram então reclassificadas (*Analysis / Database Query / Reclass*) e apenas as áreas localizadas além dos limites estabelecidos continuaram disponíveis.

4.3.3. DEFINIÇÃO DA PONDERAÇÃO

A ponderação dos fatores utilizados no estudo de caso baseou-se no estudo realizado em etapa anterior, e a escala utilizada situou-se entre 1 e 10, sendo o maior peso atribuído à característica considerada como a mais importante.

Os subfatores considerados foram ponderados entre 0 e 10, observando-se os seguintes critérios:

- aos atributos ambientais nos quais NÃO podem ser desenvolvidos nenhuma atividade referente ao aterro foram atribuídas nota ZERO (inviabilidade total);
- para os aqueles que não sofrerão NENHUM impacto (características mais adequadas ao projeto), atribuiu-se nota 10;
- notas intermediárias situadas entre os dois extremos foram determinadas considerando-se a probabilidade de existir uma ação mitigadora com risco aceitável (notas próximas a 8 ou 9) ou riscos de danos ambientais inaceitáveis - ou de difícil aceitação - (notas próximas a 2 ou 3).

A adoção de uma ponderação crescente evita que o empreendimento seja localizado em locais que apresentem impossibilidade total, ou seja, subfatores com o valor 0, já que a sobreposição das características é feita por multiplicação e, assim, o valor 0 anula qualquer outro valor sobreposto a ele.

4.3.4. SELEÇÃO DE ÁREAS

A seleção de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos foi realizada utilizando-se três diferentes métodos: lógica booleana; ponderação dos fatores, e *fuzzy*. O objetivo de tal procedimento foi a comparação dos resultados obtidos.

No processo de seleção de áreas com base na lógica booleana, as imagens contendo as superfícies de distâncias geradas e reclassificadas para a exclusão das áreas impróprias (critérios eliminatórios) foram utilizadas para o cruzamento das informações espaciais, executado através dos comandos *Analysis*, *Mathematical Operators*, *Overlay*. A operação matemática usada para sobrepor as informações foi a multiplicação. O comando *Area* foi empregado para conhecermos o total de áreas excluídas e selecionadas.

Quando a seleção de áreas foi realizada através da ponderação dos fatores, foram utilizadas novamente as imagens contendo as superfícies de distâncias geradas anteriormente mas, desta vez, nenhuma área foi prontamente excluída. Utilizou-se, neste caso, o comando *reclass* para atribuir os pesos aos fatores e subfatores e, em seguida, essas imagens foram sobrepostas usando-se novamente a operação matemática multiplicação. A imagem resultante foi também reclassificada para a obtenção de classes de igual intervalo. O comando *Area* foi usado para o cálculo das áreas excluídas e remanescentes.

Por fim, empregou-se o método *fuzzy* para a seleção das áreas. Neste caso, os fatores foram padronizados segundo uma escala contínua de aptidão, cujos limites foram 0 (para o fator menos apto) e 255 (para o mais apto). Reescalados os fatores, utilizou-se o método de agregação de critérios múltiplos denominado Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC), disponível no Idrisi. Este método permite atribuir diferentes pesos relativos para cada um dos fatores no processo de agregação. Observa-se que os pesos

utilizados foram os mesmos aplicados no item anterior (seleção de áreas através da ponderação dos fatores). Através do módulo MCE, as imagens foram multiplicadas pelos seus respectivos pesos e depois sobrepostas umas às outras através da operação matemática soma. Por fim, a imagem resultante foi multiplicada por imagem contendo restrições booleanas para eliminar as áreas que não são aptas em grau nenhum (áreas urbana e rural, estradas e corpos d'água superficial). A imagem final foi reclassificada para criar classes de adequação. O comando *Area* foi novamente utilizado para conhecermos o total de áreas excluídas e o total de áreas pertencente a cada classe de adequação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE ÁREAS

O sucesso de processos que envolvem conflitos entre as diferentes partes interessadas (como é o caso do processo de seleção de áreas para localização de aterros), é determinado por alguns fatores fundamentais dentre os quais pode-se destacar a estruturação do processo, a participação de todos os grupos envolvidos em todas as etapas do processo, e a disposição desses grupos em negociar para que as soluções sejam encontradas.

A estruturação do processo constitui uma das fases mais importantes e tem por objetivo identificar e agrupar os elementos de avaliação, de modo que o decisor entenda e avalie, com clareza, o processo decisório. A abordagem multicritérios considera que, na maioria das vezes, a observação de diversos elementos de avaliação influi de forma positiva no processo de tomada de decisão mas, para tanto, é preciso identificar quais são os elementos fundamentais envolvidos que permitem, ao decisor, a tomada de decisão.

Em processo de avaliação preliminar de áreas adequadas à disposição de resíduos sólidos, vários fatores podem ser utilizados e a escolha destes encontra-se, muitas vezes, vinculada às características da região estudada; entretanto, existem alguns fatores que são considerados pela maioria dos decisores como elementos primários de avaliação e por isso utilizados na grande maioria dos trabalhos.

A Tabela 05 apresenta os fatores usados por alguns autores para a seleção preliminar de áreas destinadas a disposição de resíduos sólidos. De acordo com a citada tabela, os fatores considerados essenciais e compartilhados pela maioria dos autores são:

TABELA 05. Fatores considerados na seleção de áreas para aterros, segundo os autores pesquisados.

Autores	Fatores							
	Geologia/ hidrogeologia	Uso do solo	Solo	Topografia	Recursos hídricos superficiais	Acesso à área	Distância de núcleos urbanos	Outros
Siddiqui et al. (1996)								
Bluestem Solid Waste Agency (1997)								Distância do centro gerador de resíduos, tamanho da área, distância de áreas ambientalmente sensíveis, impacto nas atividades econômicas existentes, direção dos ventos, distância de parques, áreas de recreação e áreas históricas
Karthikeyan et al. (1996)								
Charnpratheep et al. (1997)								
Kao & Lin (1996)								Compacidade e valor da área, distância de áreas ambientalmente sensíveis
Jaakko Pöyry (1992)								Recursos minerais
Basagaoglu et al. (1997)								Distância de poços d'água utilizados para abastecimento público, atividade sísmica
Valeriano & Escalera (1998)								Uso da água
Katsamaki et al. (1996)								Clima, aceitação pública, valor da área, distância do centro gerador de resíduos

Continuação

TABELA 05. Fatores considerados na seleção de áreas para aterros, segundo os autores pesquisados.

Autores	Fatores							
	Geologia/ hidrogeologia	Uso do solo	Solo	Topografia	Recursos hídricos superficiais	Acesso à área	Distância de núcleos urbanos	Outros
Araújo et al. (1999)								Distância de estações de captação de água
Grey-Owen Sound Waste Management Department (1997)								Impacto nas atividades econômicas existentes no entorno, impacto ecológico e cultural, custos com o desenvolvimento do aterro
Souza (1999)								Vida útil da unidade
Herzog (1999)								Proximidade a habitats ameaçados, zoneamento, tamanho da área, custos
Symeonakis (1996)								Distância de falhas geológicas
Squiers et al. (1995)								

- geologia/hidrogeologia;
- uso do solo;
- solo;
- topografia;
- recursos hídricos superficiais;
- acessibilidade à área;
- distância de núcleos urbanos.

É claro que a escolha dos fatores depende, também, da disponibilidade de dados já existentes e/ou da facilidade para obtê-los, no entanto, os elementos citados acima podem, de um modo geral, ser obtidos sem muitos problemas. Obviamente, se houver disponibilidade de informações mais detalhadas para toda a área investigada, pode-se subdividir estes fatores em subfatores (fatores elementares) ou ainda incluir outros fatores, o que acrescentaria maior precisão a seleção preliminar. É necessário lembrar, entretanto, a existência da limitação humana na avaliação simultânea de diversos fatores, expressa pelo número de Miller (7 ± 2).

Com base no exposto acima, os fatores já mencionados foram selecionados como os principais elementos de avaliação, o que possibilitou o estabelecimento dos critérios eliminatórios e classificatórios e, utilizando-se o SIG Idrisi, o cruzamento das informações espaciais.

5.2. ANÁLISE DA PONDERAÇÃO DE FATORES UTILIZADOS EM ESTUDOS DE SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS PARA ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ponderação pode ser definida como a atribuição de valores a diferentes fatores de modo a indicar a importância relativa de cada um deles dentro de um determinado cenário sob avaliação. Devido às variações de opinião normalmente existentes entre diferentes grupos de decisores e mesmo entre os membros de um determinado grupo de avaliação, o que é inerente ao processo já que cada indivíduo tem sua própria visão subjetiva do problema, a ponderação tem-se apresentado como uma das etapas mais polêmicas dentro de um processo de seleção de áreas para localização de aterros de resíduos sólidos.

Como a ponderação de fatores reflete o juízo de valores de cada decisor, ela não deve nunca ser vista como verdade absoluta, no entanto, a avaliação de resultados e conseqüências obtidos em trabalhos anteriores torna-se uma ferramenta importante para o entendimento do processo e permite o estabelecimento do "estado da arte".

A Tabela 06 apresenta a importância dada por fontes consultadas a duas grandes áreas de interesse: aspectos técnico-ambiental e sócio-econômico.

TABELA 06. Importância atribuída por alguns autores aos fatores técnico-ambiental e sócio-econômico por eles considerados.

Fonte	Fatores (%)	
	Técnico-ambiental	Sócio-econômico
Valeriano & Escalera (1998)	75	25
Jaakko Pöyry (1992)	57	43
Bluestem Solid Waste Agency (1997)	28	72
Kao & Lin (1996)	61	39
Katsamaki et al (1996)	27	73
Araújo et al. (1999)	96	4
Souza (1999)	83	17
Herzog (1999)	63	37
Symeonakis (1996)	78	22
Squiers et al. (1995)	67	33

Conforme pode-se observar, a grande maioria dos autores (80%) considera os fatores técnico-ambientais como os elementos mais importantes em um estudo de viabilidade e apenas 20% deles consideram que os fatores sócio-econômicos devem ter prioridade.

Tal constatação é endossada pela Tabela 07. Segundo a referida tabela, os aspectos mais significativos e que fundamentam a escolha da área são, sem dúvida, as características do solo e notadamente do subsolo, de grande importância neste tipo de empreendimento. Destacam-se, também, os fatores

água superficial e topografia. Observa-se que os fatores foram classificados considerando-se os pesos recebidos por cada um deles.

TABELA 07. Ordem de importância dos fatores segundo a opinião dos autores consultados.

Fonte	Ordem de importância dos fatores		
	1º	2º	3º
Valeriano & Escalera (1998)	Geologia/hidrogeologia Uso do solo Topografia	Solos	Uso da água
Jaakko Pöyry (1992)	Geologia/hidrogeologia Uso do solo	Água superficial	Solos
Bluestem Solid Waste Agency (1997)	Geologia/hidrogeologia	Distância do centro gerador do resíduo	Topografia
Kao & Lin (1996)	Geologia/hidrogeologia	Água superficial	Infra-estrutura
Katsamaki et al (1996)	Aceitação pública	Geologia/hidrogeologia Distância do centro gerador do resíduo	Infra-estrutura
Araújo et al. (1999)	Profundidade do lençol freático	Permeabilidade, CTC, pH, espessura do material inconsolidado	Topografia Água superficial
Souza (1999)	Profundidade do lençol freático	Água superficial	Permeabilidade
Herzog (1999)	Solos	Custos com a compra da área	Topografia Água superficial
Symeonakis (1996)	Geologia/hidrogeologia	Topografia	Água superficial
Squiers et al. (1995)	Geologia/hidrogeologia	Topografia	Água superficial

Na Tabela 08 são apresentadas as razões encontradas entre os pesos, em diferentes combinações de fatores. Embora a atribuição de pesos deva ser específica para cada caso (já que deve basear-se, também, nas características da região estudada, como já mencionado acima), pode-se observar que existe, de um modo geral, uma grande proximidade de valores dentre cada relação avaliada. Ressalta-se que a comparação dos pesos atribuídos aos fatores não foi efetuada pois a base dos trabalhos analisados não era a mesma. Assim sendo, os valores

relativos foram avaliados segundo a razão estabelecida entre os pesos atribuídos aos fatores, por cada autor considerado. Desta forma, torna-se possível manter a integridade do que “pensou” cada decisor e utilizar estas informações como base para uma análise imparcial.

TABELA 08. Razão entre os pesos atribuídos por alguns autores aos fatores utilizados por eles.

Fatores	Fonte	Razão entre os pesos
Geologia-hidrogeologia/topografia	Valeriano & Escalera (1998)	1,0
	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,1
	Kao & Lin (1996)	1,4
	Symeonakis (1996)	1,6
	Squiers et al. (1995)	1,1
Geologia-hidrogeologia/uso do solo	Valeriano & Escalera (1998)	1,0
	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,6
	Jaakko Pöyry (1992)	1,0
	Katsamaki et al. (1996)	2,5
	Squiers et al. (1995)	1,5
Geologia-hidrogeologia/solos	Valeriano & Escalera (1998)	1,7
	Jaakko Pöyry (1992)	1,7
	Squiers et al. (1995)	1,5
Geologia-hidrogeologia/infra-estrutura	Jaakko Pöyry (1992)	2,5
	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,2
	Kao & Lin (1996)	1,2
	Symeonakis (1996)	5,8
Geologia-hidrogeologia/água superficial	Jaakko Pöyry (1992)	1,3
	Sound waste m. department (1997)	1,2
	Kao & Lin (1996)	1,0
	Symeonakis (1996)	1,7
	Squiers et al. (1995)	1,2

Continuação

TABELA 08. Relação entre os pesos atribuídos por alguns autores aos fatores utilizados por eles.

Fatores	Fonte	Relação entre os pesos
Geologia-hidrogeologia/ distância de núcleos urbanos	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,6
	Katsamaki et al. (1996)	2,5
	Symeonakis (1996)	2,8
	Squiers et al. (1995)	1,6
Topografia/uso do solo	Valeriano & Escalera (1998)	1,0
	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,5
	Souza (1999)	2,2
	Squiers et al. (1995)	1,3
Topografia/ infra-estrutura	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,1
	Kao & Lin (1996)	0,9
	Charnpratheep et al. (1997)	0,9
	Katsamaki et al. (1996)	0,5
	Symeonakis (1996)	3,6
Topografia/água superficial	Araújo et al. (1999)	1,0
	Souza (1999)	0,9
	Kao & Lin (1996)	0,7
	Herzog (1999)	1,0
	Symeonakis (1996)	1,1
	Squiers et al. (1995)	1,1
Topografia/solos	Katsamaki et al. (1996)	0,7
	Valeriano & Escalera (1998)	1,7
	Herzog (1999)	0,8
	Squiers et al. (1995)	1,3
Topografia/ distância de núcleos urbanos	Araújo et al. (1999)	2,0
	Souza (1999)	1,4
	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,4
	Herzog (1999)	1,4
	Symeonakis (1996)	1,8
	Squiers et al. (1995)	1,5

Continuação

TABELA 08. Relação entre os pesos atribuídos por alguns autores aos fatores utilizados por eles.

Fatores	Fonte	Relação entre os pesos
Água superficial/uso do solo	Souza (1999)	2,4
	Jaakko Pöyry (1992)	0,8
	Squiers et al. (1995)	1,3
Água superficial/ infra-estrutura	Jaakko Pöyry (1992)	2,0
	Kao & Lin (1996)	1,2
	Symeonakis (1996)	3,3
Água superficial/solos	Jaakko Pöyry (1992)	1,3
	Herzog (1999)	0,8
	Squiers et al. (1995)	1,3
Água superficial/ distância de núcleos urbanos	Araújo et al. (1999)	2,0
	Souza (1999)	1,5
	Herzog (1999)	1,4
	Symeonakis (1996)	1,6
	Squiers et al. (1995)	1,4
Uso do solo/solos	Valeriano & Escalera (1998)	1,7
	Jaakko Pöyry (1992)	1,7
	Squiers et al. (1995)	1,0
Uso do solo/distância de núcleos urbanos	Bluestem Solid Waste Agency (1997)	1,0
	Katsamaki et al. (1996)	1,0
	Souza (1999)	0,7
	Squiers et al. (1995)	1,1

A análise dos resultados obtidos para as diferentes relações estabelecidas permite os seguintes comentários:

1. As relações entre os pesos utilizados pelos diferentes autores consultados apresentam, em sua grande maioria, valores bastante próximos quando os fatores envolvidos são fatores classificados como técnico-ambientais (geologia-hidrogeologia, topografia e água superficial):

- geologia-hidrogeologia/topografia: os valores obtidos para esta relação variam entre 1,0 e 1,6, com desvio padrão de 0,25. Neste caso, observa-se que o maior valor encontrado é o resultante da ponderação estabelecida por Symeonakis (1996). De acordo com considerações feitas pelo autor, a adoção de tal esquema de ponderação baseou-se nos limites por ele fixados (10^{-8} m/s para a permeabilidade e 33% para a declividade), o que resultou na seleção de áreas com permeabilidades bastante baixas, entretanto, localizadas em áreas montanhosas;
- geologia-hidrogeologia/água superficial: os valores situam-se entre 1,0 e 1,7, com desvio padrão de 0,26. Também neste caso, o maior valor encontrado foi para a relação estabelecida por Symeonakis (1996), refletindo novamente sua grande preocupação com o fator geologia-hidrogeologia;
- topografia/água superficial: os valores apresentam-se bastante homogêneos, variando entre 0,7 e 1,2, com desvio padrão de 0,17. Tal fato já era esperado pois a importância atribuída pelos autores considerados a estes dois fatores já havia sido observada na Tabela 07.

Quando o fator solo é considerado, embora este seja também um fator técnico-ambiental, algumas diferenças de opinião em relação a sua importância são observadas:

- geologia-hidrogeologia/solos: embora apenas três valores tenham sido obtidos para esta relação, os valores apresentam-se bastante próximos (1,5 a 1,7) com desvio padrão de 0,12;
- topografia/solos: neste caso, os resultados encontrados situam-se entre 0,7 e 1,7;
- Água superficial/solos: novamente apenas três valores foram obtidos, com variação entre 0,8 e 1,3.

Tal constatação pode ser atribuída ao fato de haver, entre os pesquisados, uma certa controvérsia quanto a importância do fator solo. Alguns autores defendem sua importância já que a escolha de um solo adequado (argiloso) implica em menor percolação do chorume e menor susceptibilidade à erosão, além de sua utilidade como material de cobertura. No entanto, outros autores não concordam com a importância de se ter argila nos primeiros 2,5 m do perfil e argumentam que, dependendo do tipo de aterro que será construído, esse material

pode ser removido, e que, portanto, maior ênfase deve ser dada ao material situado em maior profundidade.

2. Quando a relação estabelecida envolve fatores técnico-ambientais e sócio-econômicos (uso do solo, infra-estrutura e distância de núcleos urbanos), os valores resultantes mostram-se, de um modo, geral, diferenciados, refletindo as diferentes preocupações de cada autor com estes elementos. É possível, entretanto, fazer as seguintes considerações:

Quando os fatores geologia-hidrogeologia, topografia e água superficial são relacionados aos fatores uso do solo e distância dos núcleos urbanos, parece, em princípio, que não existe qualquer relação entre os valores resultantes destas relações; no entanto, se os autores considerados forem separados em "autores que consideraram *apenas* uso do solo (Valeriano & Escalera, 1998; Jaakko Pöyry, 1992)", "autores que consideraram uso do solo e distância dos núcleos urbanos (Bluestem Solid Waste Agency, 1997; Katsamaki et al., 1996; Squiers et al., 1995; Souza, 1999)" e "autores que consideraram *apenas* distância dos núcleos urbanos (Araújo et al., 1999; Herzog, 1999; Symeonakis, 1996)", é possível observar que os autores do primeiro grupo atribuíram pesos elevados ao fator uso do solo, o que resultou em valores entre 0,8 e 1,0 para as relações efetuadas entre este fator e os fatores técnico-ambientais.

Da mesma forma, se forem selecionados agora apenas os autores definidos no chamado segundo grupo, é possível notar que existe uma grande proximidades entre os pesos atribuídos aos fatores uso do solo e distância de núcleos urbanos, ou seja, os autores consideraram que estes fatores têm importâncias bastante próximas, entretanto, inferiores aos pesos atribuídos pelos autores citados no primeiro caso, que usaram apenas o fator uso do solo. Embora existam diferenças de opinião quanto à importância desses fatores entre os autores, verifica-se que a grande maioria dos valores encontrados para as relações fatores técnico-ambientais/uso do solo e fatores técnico-ambientais/distância de núcleos urbanos situa-se entre 1,3 e 1,6. Estes valores também predominam quando se analisa os autores do terceiro grupo, que utilizaram apenas o fator distância de núcleos urbanos.

O exposto acima é endossado pelos valores obtidos para a relação uso do solo/proximidade a núcleos urbanos.

Com relação à observação de que, quando apenas o uso do solo é utilizado, maior importância é dada a este fator, é possível vinculá-la ao fato de que, neste caso, a distância dos núcleos urbanos está “incorporada” ao fator uso do solo (representada pelo subfator áreas urbanas), resultando em uma maior importância.

Quando os fatores geologia-hidrogeologia, topografia e água superficial são relacionados ao fator infra-estrutura, verifica-se, novamente, que os valores resultantes apresentam-se bastante dispersos, refletindo diferentes opiniões sobre a importância do fator infra-estrutura.

As observações feitas acima encontram-se reunidas na Tabela 09.

TABELA 09. Resultados encontrados para a análise da ponderação realizada.

Fatores	Valores observados com maior frequência para as diferentes relações
Geologia-hidrogeologia/topografia	1,0 – 1,4
Geologia-hidrogeologia/água superficial	1,0 – 1,3
Topografia/água superficial	0,7 – 1,1
Geologia-hidrogeologia/uso do solo	1,4 – 1,6*
Geologia-hidrogeologia/distância de núcleos urbanos	
Topografia/uso do solo	
Topografia/ distância de núcleos urbanos	
Água superficial/uso do solo	
Água superficial/ distância de núcleos urbanos	
Uso do solo/distância de núcleos urbanos	0,7 – 1,1

* - valores observados com maior frequência nos casos em que os autores consideraram, dentre seus fatores de avaliação, tanto o uso do solo quanto a distância de núcleos urbanos.

5.3. APLICAÇÃO DA PONDERAÇÃO DOS FATORES AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO

5.3.1. Localização da área de estudo

Situada no Estado de São Paulo, a área de estudo localiza-se na região nordeste do estado e engloba, total ou parcialmente, os municípios de Jardinópolis, Sertãozinho, Ribeirão Preto, Dumont, Luiz Antônio, São Simão, Cravinhos, Serra Azul, Serrana, Altinópolis, Brodosqui e Batatais, abrangendo uma superfície de 2.391 km². Os paralelos 7622,010 e 7674,000 km e os meridianos 190,010 e 236,000 km, em coordenadas UTM, são os limites da área, que faz parte das folhas de Ribeirão Preto (SF. 23-V-C-I-1), Serrana (SF. 23-V-C-I-2), Bonfim Paulista (SF. 23-V-C-I-3) e Cravinhos (SF. 23-V-C-I-4). A Figura 2 mostra a localização da área.

FIGURA 02. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

5.3.2. Seleção de áreas com viabilidade ambiental

O processo de seleção de áreas foi realizado a partir de informações contidas nos mapas-base (geologia, pedologia, topografia e hidrografia) e na imagem de satélite uso do solo. Estas informações, digitalizadas e convertidas

para o formato *raster* com o auxílio dos *software* Tosca (v. 2.12) e Idrisi (v. 2.0), foram reagrupadas nos seguintes temas: geologia (substrato rochoso), pedologia, declividade, uso do solo, hidrografia, infra-estrutura e distância de núcleos urbanos. A utilização de operadores de distância e do comando *reclass*, ambos disponíveis no SIG Idrisi, permitiu a geração de zonas (*buffers*) em torno das feições básicas e a criação das seguintes faixas de variação:

- Declividade: 0 – 2%, 2 – 5%, 5 – 10%, 10 – 30%, > 30%;
- Hidrografia: 0 – 500 m, > 500 m;
- Infra-estrutura: 0 – 200 m, 200 – 2.000 m, 2.000 – 4.000 m, > 4.000 m;
- Distância de núcleos urbanos: 0 – 3.000 m, 3.000 – 10.000 m, > 10.000 m.

Observa-se que essas faixas de variação foram estabelecidas de acordo com as recomendações contidas nas normas técnicas e literatura especializada.

As Figuras 03, 04, 05, 06, 07, 08 e 09 mostram, respectivamente, as imagens obtidas para a geologia, pedologia, uso do solo, declividade, hidrografia, infra-estrutura e distância de núcleos urbanos.

FIGURA 03. Geologia.

FIGURA 04. Pedologia.

FIGURA 05. Uso do solo.

FIGURA 06. Declividades.

FIGURA 07. Hidrografia.

FIGURA 08. Infra-estrutura rodoviária.

FIGURA 09. Distâncias de núcleos urbanos.

Para a comparação dos resultados finais obtidos, foram utilizados três diferentes processos para a seleção de áreas: lógica booleana, atribuição de pesos aos fatores envolvidos, e o método fuzzy.

5.3.2.1. Seleção de áreas considerando-se lógica booleana

Neste caso, para a seleção preliminar de áreas-alvo propícias para a localização de aterros, realizou-se a exclusão, do processo de seleção, das seguintes áreas impróprias (critérios eliminatórios):

- Geologia: formações Botucatu e Pirambóia, e cidades. Estas formações geológicas foram excluídas do processo de seleção por constituírem o aquífero Botucatu e por se apresentarem desprovidas de qualquer proteção natural na área, já que dão origem a materiais inconsolidados arenosos e, portanto, inadequados. As cidades foram eliminadas por serem áreas obviamente impróprias;
- Pedologia: areia quartzosa, solos hidromórficos, solos litólicos, cambissolo, tipos de terrenos, brunizem. Estas classes de solo foram descartadas por apresentarem problemas relacionados à profundidade (solos rasos pouco evoluídos), textura, erosão e saturação de água;
- Declividade: áreas com declividades menores que 2% e maiores que 10% foram eliminadas por estarem relacionadas a problemas como acúmulo de água e erosão;
- Uso do solo: reflorestamento, vegetação natural, área urbana, área rural, água. Estas classes foram retiradas do processo visando a proteção da natureza e da população;
- Infra-estrutura: áreas situadas a menos de 200 m e a mais de 4.000 m das estradas: problemas associados a fatores estéticos e econômicos;
- Hidrografia: áreas localizadas a menos de 500 m de qualquer corpo d'água superficial foram eliminadas visando a proteção dos recursos hídricos superficiais;
- Distância de núcleos populacionais: áreas situadas a menos de 3.000 m e a mais de 10.000 m de qualquer núcleo urbano foram descartadas por razões sanitárias e econômicas, respectivamente.

Para a exclusão destas áreas foi utilizada a lógica booleana – 0 para as áreas impróprias e 1 para as áreas que continuavam no processo de seleção.

A partir das imagens resultantes destas operações foi feito, então, o cruzamento das informações espaciais, utilizando-se o comando Overlay. As imagens foram processadas duas a duas e a operação matemática envolvida foi a multiplicação. Na Figura 10 são apresentadas as áreas selecionadas como adequadas para a localização de aterro de resíduos sólidos. Da área inicialmente investigada (2.391 km^2), 2.301 km^2 foram excluídos (96,2%) e 90 km^2 foram selecionados (3,8%).

FIGURA 10. Áreas selecionadas com a utilização da lógica booleana.

5.3.2.2. Seleção de áreas utilizando-se a ponderação dos fatores

O segundo método empregado para a seleção preliminar de áreas foi a ponderação dos fatores envolvidos. Neste caso, as imagens utilizadas para inicializar os trabalhos foram as apresentadas nas figuras 03 – 09. Os fatores

envolvidos foram avaliados e ponderados segundo suas importâncias, observando-se as considerações feitas no item 5.3.1. A ponderação utilizada é apresentada na Tabela 10.

Com relação aos pesos atribuídos aos subfatores, algumas observações podem ser feitas:

- Para a atribuição de um peso 7 para a formação Serra geral, considerou-se que, embora esta unidade esteja geralmente associada a um sistema de fraturamento intenso, o material inconsolidado resultante é predominantemente argiloso e bastante espesso (de acordo com a revisão bibliográfica realizada);
- Ao latossolo roxo foi atribuído o maior peso, dentro do fator solos, devido às características apresentadas por ele: solo argiloso, espesso, com teores de óxido de ferro total elevados, e boa resistência à erosão. Os menores teores de óxido de ferro encontrados nos latossolos vermelho-escuro e a textura mais arenosa apresentada pelos latossolos vermelho-amarelo (implicando em maior susceptibilidade à erosão) foram as causas para a diferenciação dos pesos;
- A atribuição de um peso intermediário para o subfator campo (uso do solo) deve-se ao fato de terem sido incorporadas a ele as áreas de ocorrência de várzeas;
- Para a atribuição de peso 5 para distâncias de núcleos urbanos maiores que 10.000 m e de peso 4 para distâncias superiores a 4.000 m (fator infraestrutura) considerou-se apenas o fator econômico.

Definidos os pesos, utilizou-se o comando *reclass* para atribuí-los a cada fator e subfator. Em seguida, foi feita a sobreposição das imagens, sendo empregada, novamente, a operação matemática multiplicação. A imagem obtida foi novamente reclassificada, utilizando-se, para isto, intervalos iguais de classes. A Figura 11 apresenta as áreas selecionadas resultantes deste processo. Foram selecionados 108,8 km² (4,6% da área estudada), classificados em:

- áreas com baixas pontuações (4,8 km²): 0,2%;
- áreas com pontuação intermediária (20,3 km²): 0,9%;
- áreas com pontuações mais elevadas (83,7 km²) – 3,5%

Da área total investigada, 2.282 km² (95,4%) foram excluídos do processo.

TABELA 10. Fatores e pesos utilizados no estudo de caso.

Fatores	Pesos	Subfatores	Pesos
Geologia/hidrogeologia	9,0	Formação Serra Geral	7
		Formação Botucatu	0
		Formação Pirambóia	0
		Cidades	0
Topografia	8,0	< 2%	0
		2 – 5%	10
		5 – 10%	9
		10 – 30%	6
		> 30%	0
Água superficial	7,5	< 500 m	0
		> 500 m	10
Solos	6,0	Latossolo roxo	9
		Terra roxa	6
		Areia quartzosa	2
		Solos hidromórficos	0
		Solos litólicos	2
		Cambissolos	2
		Brunizem	2
		Latossolo vermelho-escuro (textura argilosa)	8
		Latossolo vermelho-escuro (textura média)	7
		Latossolo vermelho-amarelo (textura argilosa)	7
		Latossolo vermelho-amarelo (textura argilosa)	6
Uso do solo	5,5	Reflorestamento	2
		Vegetação natural	0
		Campo (milho, manga, amendoim, várzea)	6
		Cana-de-açúcar	10
		Área urbana	0
		Área rural	0
		Solo exposto	10
		Água	0
		Queimada	10
Distância de áreas urbanas	6,0	< 3.000 m	0
		3.000 – 10.000 m	10
		> 10.000 m	5
Infra-estrutura	5,0	< 200 m	0
		200 – 2.000 m	10
		2.000 – 4.000 m	8
		> 4.000 m	4

FIGURA 11. Áreas selecionadas através da ponderação dos fatores.

É importante observar que quando são atribuídos pesos a fatores e subfatores, estes são multiplicados e o resultado passa a ser o valor do pixel que os contém. Entretanto, observando a Tabela 10, apresentada acima, pode-se encontrar a seguinte situação: ao fator solo, por exemplo, foi atribuído peso 6 e ao subfator Latossolo vermelho-escuro (textura argilosa) peso 8, totalizando 48. Já ao fator topografia foi dado peso 8 e ao subfator que contém a classe (10–30%) peso 6. Também neste caso o valor total atribuído ao pixel foi 48.

Tal constatação torna-se importante pois, no primeiro caso (solos) o valor 48 representa uma situação bastante favorável ao empreendimento, mas pouco indicada no segundo caso (topografia, classe 10-30%).

Deve-se, ainda, ressaltar que embora problemas como o mostrado acima estejam vinculados ao processo, na verdade eles não interferem na escolha final da área já que para isso é preciso antes que se faça visitas às áreas para verificação e confirmação das informações e para coleta, in situ, de dados não obtidos anteriormente tais como dados geotécnicos.

Por outro lado, uma grande vantagem resultante da utilização de pesos é o fato dos resultados obtidos (áreas) serem apresentados em classes de adequação e não apenas em permitidos ou não, como foi o caso anterior.

5.3.2.3. Seleção de áreas usando o conceito relativo (Fuzzy)

A Combinação Linear Ponderada (*weighted linear combination – WLC*), é um método de agregação de dados que não utiliza restrições booleanas mas sim o conceito relativo ou *fuzzy*. Para a utilização de fatores *fuzzy*, os fatores usados foram padronizados de acordo com uma escala contínua, sendo o valor 0 atribuído ao fator menos apto e 255 ao fator mais apto. Tal procedimento foi realizado para que os diferentes fatores pudessem ser comparados e combinados, e foi feito através do módulo *fuzzy*. A função utilizada para descrever os fatores topografia, infra-estrutura, hidrografia e distância de núcleos urbanos foi a sigmóide monotonicamente crescente e os pontos de controle foram, respectivamente, 2 e 10, 200 e 4.000, 500 e 1.000, e 3.000 e 10.000.

Padronizados os fatores, utilizou-se o comando MCE para atribuir os pesos aos fatores. Este comando multiplica cada fator pelo seu respectivo peso e, a seguir, soma as imagens geradas. Observa-se que, para a ponderação dos fatores, foram utilizados os pesos apresentados no item anterior. Foram, também, multiplicadas as restrições booleanas área urbana e rural, água superficial e estradas, para eliminar as áreas que não são aptas em grau nenhum.

A imagem resultante foi reclassificada segundo classes de adequação e é apresentada na Figura 12. As áreas excluídas totalizaram 331 km² (13,8%) e as áreas restantes foram classificadas da seguinte forma: 60 km² (2,5%) foram definidos como pouco adequados, 291 km² (12,2%) foram considerados de baixa adequação, 1.041 km² (43,5%) foram enquadrados em média adequação, 600 km² (25,1%) foram considerados como razoavelmente adequados e apenas 68 km² (2,9%) podem ser considerados adequados.

O uso da teoria *fuzzy* para representar limites espaciais, mais compatível com a realidade que a lógica booleana, resultou em um descarte bem menor de áreas quando comparado com os métodos anteriores.

FIGURA 12. Classes de adequação de áreas obtidas através do método *fuzzy*.

5.3.2.4. Determinação das áreas comuns aos três métodos

Os métodos utilizados acima resultaram na seleção de áreas consideradas adequadas por cada um deles. Com o emprego do primeiro método (lógica booleana) foram descartados 96,2% da área estudada (2.301 km^2). O segundo método utilizado – ponderação dos fatores – resultou na exclusão de 95,4% (2.282 km^2 da área). Já com o emprego do método *fuzzy*, apenas 13,8% (331 km^2) foram desconsiderados.

A sobreposição das imagens geradas em cada um dos casos resultou na imagem mostrada na Figura 13, onde aparecem as áreas selecionadas que são comuns aos três casos e a variação da adequação destas áreas dentro do cenário em questão. Observa-se que o total de áreas excluídas (2.301 km^2) e selecionadas (90 km^2) coincidem com os valores encontrados para o primeiro caso – emprego da lógica booleana – que foi o método que resultou em maior descarte de áreas.

FIGURA 13. Áreas selecionadas, comuns aos três métodos utilizados.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A preocupação com a questão dos resíduos sólidos, especialmente com a instalação de aterros em locais inadequados e sem critérios, vem se tornando um dos pontos-chave no que se refere ao planejamento municipal. Problemas de localização de áreas de disposição associados à falta de recursos financeiros e técnicos para resolver tais problemas são enfrentados pela grande maioria dos municípios brasileiros.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o Sistema de Informações Geográficas (SIG) na avaliação preliminar de locais para disposição final de resíduos sólidos. Os resultados obtidos mostram que o SIG é uma ferramenta bastante útil e eficiente na seleção e hierarquização de áreas, segundo as potencialidades das mesmas para o recebimento dos resíduos, a partir do estabelecimento de critérios seletivos. A abordagem multicriterial mostrou-se adequada e satisfatória, influenciando de forma positiva no processo de tomada de decisão, e os elementos fundamentais envolvidos no processo de seleção preliminar de áreas foram identificados.

Embora diferentes métodos tenham sido desenvolvidos para auxiliar e/ou otimizar o processo de seleção de áreas, foi possível a identificação de faixas de pesos para os fatores estudados, já que estes, utilizados por diversos autores, apresentaram, de um modo geral, valores próximos. Tal constatação pode ser atribuída ao fato de que, apesar das diferentes técnicas utilizadas para a obtenção destas ponderações, todas elas partem de comparações iniciais feitas pelos decisores, que julgam a importância de cada elemento envolvido. Embora essas ponderações devam refletir o cenário observado em cada caso particular, observa-se que existe um grande consenso entre os pesquisadores quanto à maior ou menor importância de determinados fatores. Outro fato que deve ser observado é a falta, em alguns casos, de conhecimentos específicos por parte do(s) decisor(es)

que, por isso, baseia-se então em trabalhos anteriores similares para estabelecer as diretrizes de seu próprio trabalho.

Embora existam, também, diferenças quanto às expectativas e, por conseguinte, às ponderações propostas pelos diferentes grupos envolvidos em processos de seleção de áreas, não foram observadas interferências significativas do público nos casos em que estes estiveram envolvidos (Bluestem Solid Waste Agency, 1997; Katsamaki et al., 1996).

Recomenda-se, portanto, o prosseguimento do trabalho com a aquisição de novos dados para que se possa estabelecer relações mais seguras e melhor definidas.

Quanto à seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro de resíduos sólidos no entorno de Ribeirão Preto (SP), observa-se que o uso da lógica *fuzzy* recupera significantes áreas descartadas pela tradicional lógica binária. Este é um aspecto bastante interessante já que o objetivo da seleção preliminar é excluir áreas sensíveis e, ao mesmo tempo, reter porções suficientes para avaliações posteriores.

Desta forma, recomenda-se que as áreas selecionadas neste estudo sejam melhor investigadas com a aquisição de novos dados, destacando-se a importância da inclusão do fator profundidade do lençol freático, o que possibilitará o encontro (ou não) de área(s) com viabilidade ambiental na região.

Por fim, ressalta-se que não há uma solução ótima para o problema, visto que nenhuma área é a mais adequada em todos os aspectos avaliados. Busca-se, entretanto, visualizar soluções de melhor compromisso, já que existem áreas que podem oferecer uma boa proteção ao meio ambiente e ao homem e que, por isso, precisam ser encontradas.

ANEXO A

TABELA A1. Fatores e pesos utilizados por Siddiqui et al. (1996).

Fatores	Subfatores	Subfatores
Geologia/hidrogeologia (0,71*, 0,22**, 0,07***)	Declividade (0,48)	com limitação (0,13) sem limitação (0,87)
	Textura (0,31)	com limitação (0,13) sem limitação (0,87)
	Permeabilidade (0,13)	com limitação (0,13) sem limitação (0,87)
	Profundidade do substrato rochoso (0,04)	com limitação (0,13) sem limitação (0,87)
	Profundidade do lençol freático (0,04)	com limitação (0,13) sem limitação (0,87)
Uso do solo (0,71*, 0,22**, 0,07***)		Agricultura (0,833) Florestas (0,166)
Proximidade dos centros urbanos (0,71*, 0,22**, 0,07***)		0 - 10 km (0,735) 10 - 20 km (0,207) > 20 km (0,058)

Obs.: variação da importância relativa dos três principais fatores:

* - cenário I – geologia/hidrogeologia > proximidade > uso do solo

** - cenário II - proximidade > geologia/hidrogeologia > uso do solo

*** - cenário III - uso do solo > proximidade > geologia/hidrogeologia

TABELA A2. Fatores e pesos utilizados por Charnpratheep et al. (1997).

Fatores	Subfatores	Subfatores	Subfatores
Estabelecimentos humanos (0,4717)	Poços (0,2992) Escolas (0,2373) Povoados (0,1947) Templos (0,1479) Áreas urbanas (0,0738) Sítio arqueológico (0,0471)		
Recursos naturais (0,3303)	Água superficial (0,5695) Florestas (0,0974) Áreas agrícolas (0,3331)	Rios (0,6667)	Perene (0,9) Intermitente (0,1)
		Lagoas (0,3333)	
		Arrozais (0,3333) Pomares (0,6667)	
Estradas (0,1044)			
Topografia (0,0936)	Declividade (0,41) Lineamentos (0,2693) Altitude (0,2119) Áreas com areia e pedregulhos (0,1088)		

TABELA A3. Fatores e pesos propostos pelo Grey-Owen Sound Waste Management Department (1997), Ontário, Canadá.

Categorias e pesos (%)	Componentes e pesos (%)
Saúde pública e segurança (30)	Geologia/hidrogeologia (46) Recursos hídricos superficiais (37) Aumento do tráfego (17)
Ambiente natural (25)	Ecologia aquática (35) Agricultura (26) Ecologia terrestre (23) Florestas (16)
Ambiente sócio/econômico (20)	Proximidade a áreas residenciais (52) Uso não residencial do solo (31) Atividade comercial e empregos (17)
Considerações técnico/financeiras (20)	Custos totais com o aterro (57) Custos com a aquisição da área e a operação do sistema (43)
Ambiente cultural (5)	Recursos culturais (53) Sítios arqueológicos (47)

TABELA A4. Fatores e pesos utilizados pela Jaakko Pöyry Engenharia Ltda (1992).

Fatores	Subfatores
Uso e ocupação do solo (5)	Cana de açúcar (10) Culturas anuais (10) Pastagem ou campo antrópico (10) Café, citrus, fruticultura (9) Silvicultura (7) Vegetação natural (3) Área urbana (0) Área de expansão urbana (0) Reservatório (0)
Geologia/hidrogeologia (5)	Formação Corumbataí (10) Formação Irati (10) Suites básicas (5) Formação Pirambóia (5) Formação Tatuí (5) Formação Itarare (5) Formação Aquidauana (4) Formação Rio Claro (4) Depósitos aluviais (0) Depósitos coluviais (0)
Recursos hídricos (4)	Não tem rio (10) Tem rio (6) Reservatório (6) Áreas de manancial (0)
Tipos de solo (3)	Latossolo roxo (10) Latossolo vermelho-escuro (9) Latossolo vermelho-amarelo (8) Terra roxa estruturada (7) Podzólico vermelho-amarelo (5) Solos lotólicos (3) Areias quartzosas (2) Solos hidromórficos (0)
Recursos minerais (2)	Não tem solicitações (10) Solicitações de pesquisa (8) Solicitações de lavra (4)
Infra-estrutura (2)	Menos de 2 km (10) Mais de 2 km (7)

TABELA A5. Fatores e pesos utilizados por Kao & Lin (1996).

Identificação	Fatores e pesos							
	P	E1	E2	C1	C2	C3	S1	S2
Peso 1	35	5,3	5,2	3,2	4,4	3,8	4,1	4,3
Peso 2	150	5,3	5,2	3,2	4,4	3,8	4,1	4,3

P – compactidade da área

E1 - recursos hídricos subterrâneos

E2 - recursos hídricos superficiais

C1 - valor da área

C2 - acessibilidade a rede rodoviária

C3 - declividade

S1 - desenvolvimento urbano

S2 - áreas sensíveis ou críticas

TABELA A6. Fatores e pesos utilizados por Valeriano & Escalera (1998).

Fatores	Subfatores
Declividade (2,5)	0 – 6 % (3) 6 – 13% (10) 13 – 25% (5) 25 – 55% (2) > 55% (1)
Solos (1,5)	Muito argiloso (10) Muito arenoso (7)
Geologia (2,5)	
Uso do solo (2,5)	Cobertura escassa ou nula (10) Cultivo esporádico (6) Áreas com alta salinização (7) Aeroporto (0) Área educacional (0) Área metropolitana (0) Área industrial (0) Áreas agrícolas afetadas pela salinização (3) Áreas agrícolas com pouca irrigação temporária (2) Áreas agrícolas com pouca irrigação permanente (1) Lagoa de estabilização (0) Corpos d'água (0) Áreas históricas (0)
Uso da água (1,0)	Potável (0) Não potável (irrigação permanente) (2) Não potável (irrigação temporária) (3) Sem uso (10) Corpos d'água (0)

TABELA A7 . Fatores e pesos utilizados por Katsamaki et al (1996).

Crítérios	Fatores e pesos
Ambiental	Hidrogeologia (0,5) Impacto visual (0,1) Distância de áreas residenciais (0,2) Uso do solo (0,2)
Técnico	Acessibilidade à área (0,4) Topografia (0,2) Existência de solo para cobertura (0,3) Clima (0,1)
Econômico	Custos de investimento (0,3) Custos operacionais (0,2)99999 Custos com o transporte dos resíduos (0,5)
Aceitação social	Propriedade da área (público ou particular) (0,25) Aceitação pública (0,75)

TABELA A8. Fatores e pesos utilizados pela Bluestem Solid Waste Agency (1997).

Fatores e pesos
Geologia (8,9)
Proximidade ao centro gerador dos resíduos (8,1)
Topografia (8,0)
Proximidade a estradas pavimentadas (7,6)
Tamanho da área (7,45)
Impactos em áreas ambientalmente sensíveis (6,7)
Proximidade a áreas residenciais (5,7)
Número de pessoas adjacentes à área (5,55)
Impactos no comércio existente (5,55)
Uso do solo (5,45)
Direção dos ventos (5,1)
Proximidade a parques e áreas de recreação (4,2)
Impactos em áreas históricas (3,7)
Proximidade ao centro geográfico da cidade (3,4)

TABELA A9. Fatores e pesos usados por Souza (1999).

Fatores e pesos
Classe textural (7)
Permeabilidade (12)
Espessura (11)
Declividade (11)
Distância de cursos d'água (12)
Profundidade do lençol freático (13)
Permeabilidade da rocha subjacente (10)
Potencial hídrico (7)
Uso atual do solo (5)
Vida útil para uma unidade municipal (4)
Distância dos núcleos urbanos (8)

TABELA A10. Fatores e pesos utilizados por Araújo et al. (1999).

Fatores e pesos
Permeabilidade relativa (13)
CTC (13)
pH (13)
Espessura do material inconsolidado (13)
Profundidade do nível da água (16)
Declividade (8)
Distância do perímetro urbano (4)
Estações de captação de água (8)
Principais corpos de água (8)
Áreas de proteção ambiental (4)

TABELA A11. Fatores e pesos usados por Herzog (1999).

Fatores e pesos
Proximidade a rios e lagos (7)
Proximidade a habitats e espécies ameaçadas (2)
Distância de centros populacionais (5)
Adequação do solo para fundação e cobertura (9)
Zoneamento (3)
Área útil (5)
Declividade (7)
Custos (8)

TABELA A12. Fatores e pesos utilizados por Symeonakis (1996).

Fatores e pesos
Geologia (0,2687)
Rios – 1ª ordem (0,0351)
Rios – 2ª ordem (0,0467)
Rios – 3ª ordem (0,0900)
Rios – 4ª ordem (0,1511)
Estradas (0,0461)
Áreas urbanas (0,0934)
Declividade. (0,1643)
Distância de falhas geológicas (0,1046)

TABELA A13. Fatores e pesos utilizados por Squiers et al. (1995).

Fatores e pesos
Geologia/hidrogeologia (0,209)
Topografia (0,191)
Água superficial (0,181)
Uso do solo (0,144)
Solo (0,144)
Proximidade a áreas residenciais (0,131)

TABELA A14. Fatores utilizados por Karthikeyan et al. (1996).

Fatores	Subfatores	Subfatores
Uso do solo		adequado (agricultura, sertão, floresta) inadequado (área residencial ou urbana, corpos d'água, áreas de exploração mineral)
Atributos do solo	Declividade	adequada (< 15%) inadequada (> 15%)
	profundidade do <i>solum</i>	adequada (> 1,21 m) inadequada (< 1,21 m)
Geologia		adequada inadequada (terrenos cársticos)
Malha viária e hídrica		

Potencial de atenuação de poluentes do solo	fator de adsorção para o horizonte A fator de adsorção para o horizonte B profundidade do <i>solum</i> (A+B) permeabilidade do horizonte B
Cenário hidrogeológico	Profundidade do lençol freático recarga subterrânea líquida meio aquífero solos topografia efeito da zona vadosa condutividade hidráulica do aquífero

FIGURA A15. Fatores utilizados por Basagaoglu et al. (1997)

Fatores	Subfatores	Subfatores
Geologia/hidrogeologia	aquíferos	confinados não confinados
Água superficial	escoamento médio anual	faixas de proteção variando entre 100 e 300 m
Topografia	declividade	$> 20^{\circ}$ $5 - 20^{\circ}$ $< 5^{\circ}$
Tipo de solo	espessura textura	
Infra-estrutura	malha rodoviária	faixa de proteção compreendida entre 100 e 350 m
Áreas ambientalmente sensíveis	lagos várzeas	300 m 200 m
Construções	residências	Faixas de proteção de 2 km
	poços d'água	Faixas de proteção de 365 m
Sísmica		

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). NBR 10.004 - Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). NBR 10.006 – Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). NBR 10.007 – Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). NBR 13.896 – Aterros de resíduos sólidos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.

AGUIAR, R. L. (1989). Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos – S.P: contribuição ao planejamento. São Carlos: EESC-USP. 127 p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

AGUIAR, R. L. (1997). Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. São Carlos: EESC-USP, 269 p. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

ANTENUCCI, J. C., BROWN, K., CROSWELL, P. L., KEVANY, M. J., ARCHER, H. (1991). Data base concepts. In: Geographic information systems: a guide to the technology. New York: Chapman & Hall. Cap. 5, p. 85-110.

- BASAGAOGLU, H., CELENK, E., MARINO, M. A., USUL, N. (1997). Selection of waste disposal sites using GIS. Journal of the American Water Resources Association. v. 33, n° 2, Apr. p. 455-464.
- BLUESTEM SOLID WASTE AGENCY (1999). New facility siting strategic plan. <http://www.bluestem.org/sitingcontents.html>.
- CETESB (1993). Resíduos sólidos industriais. Alfredo Carlos C. Rocca, Angela Maria M. B. Iacovone, Ariovaldo José Barrotti, et al. 2ª ed. rev. Ampl. São Paulo: CETESB. 233 p.
- CHARNPATHEEP, K., ZHOU, Q., GARNER, B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. Waste Management & Research. v. 15, n° 2, Apr. p. 197-215.
- COM(97)105 (1997). Commission of the European Communities. Proposal for a council directive on the landfill of waste.
- DAEE (1974). Estudo de águas subterrâneas – região administrativa 6 – Ribeirão Preto. São Paulo. Secret. Serv. Ob. Públ., Departamento de Águas e Energia Elétrica. v. 2, 254 p.
- DAEE (1990). Controle de erosão: bases conceituais e técnicas. Diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo, DAEE/IPT, 2ª edição. 92 p.
- DAVIS, T. (1996). Regulatory review - State of New Mexico solid waste landfill regulations. <http://weather.nmsu.edu/Teaching-Material/soil470/landfill.html>.
- DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL CONTROL (1998). Regulation document n° 2208. R.61-107.16 - Solid waste management: industrial waste landfills. South Carolina, USA. <http://www.lpittr.state.sc.us/regs/2208.htm>.

- DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES (1997). Environmental Protection Division - Georgia Geologic Survey. Circular 14 - Criteria for performing site acceptability studies for solid waste landfills in Georgia. Georgia, USA. <http://www.ganet.org/dnr/environ/pdfdoc/circlr14.pdf>
- DÖRHÖFER, G., SIEBERT, H. (1997). The search for landfill sites – requirements and implementation in Lower Saxony, Germany. Environmental Geology, v. 35, n. 1, july. p. 55 – 65.
- EMBRAPA (2000). O solo sob o microscópio. <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/tema4/tema4.html>.
- GREY-OWEN SOUND WASTE MANAGEMENT DEPARTMENT (1997). Draft terms of reference. Grey-Owen Sound, Ontário, Canadá. <http://log.on.ca/users/stewshou/tor-d5.html>.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (1996). Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 372 p.
- HERZOG, M. T. (1999). Suitability analysis decision support system for landfill siting (and other purposes). <http://www.esri.com/library/usercont/proc99/proceed/papers/pap464/p464.htm>.
- HUSSEY, V., DODD, V. A., DENNISON, G. J. (1996). Locating a landfill site for Dublin using geographic information systems. Proc. Instn. Civ. Engrs. Mun. Engr. v. 115, Sept. p. 125-133.
- JAAKKO PÖYRY ENGENHARIA LTDA (1992). Estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental da "Central de tratamento de resíduos sólidos industriais Brunelli S/A Agricultura". São Paulo, 4 volumes.

- JAGA, R. M. N., SUNDARAN, A., NATARAJAN, T. (1993). Wasteland development using geographic information system techniques. Int. J. Remote Sensing. v. 14, n° 17, p. 3249-3257.
- KAO, J. J., CHEN W. Y., LIN, H. Y., GUO, S. J. (1996). Network expert geographic information system for landfill siting. Journal of Computing in Civil Engineering. v. 10, n° 4, October. p. 307-317.
- KAO, J. J., LIN, H. Y. (1996). Multifactor spatial analysis for landfill siting. Journal of Environmental Engineering. v. 122, n° 10, October. p. 902-908.
- KARTHIKEYAN, K. G., ELLIOTT, H. A., BRANDT, R. C. (1996). Siting monofills for residuals using GIS. Journal American Water Works Association. v. 88, Feb. p. 68-75.
- KATSAMAKI, A., DIAMADOPOULOS, E., SISKOS, Y. (1996). Landfill site selection based on a multicriteria decision analysis methodology. Technical University of Crete, 26 p.
- LaBAUVE, J. M., KOTUBY-AMACHER, J., GAMBRELL, R. P. (1988). The effect of soil properties and a synthetic municipal landfill leachate on retention of Cd, Ni, Pb, and Zn in soil and sediment materials. Journal Water Pollution Federation. V. 60,. p. 379 – 385.
- LANE, W. N., McDONALD, R.R. (1983). Land suitability analysis: landfill siting. Journal of urban planning and development, ASCE. v. 109, n° 1. p. 50-61.
- LARACH, J. O. I. (1981). Bases para leitura de mapas de solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS. Série Miscelânea, 4. 91 p.
- LEE, G. F., JONES-LEE, A. (1998). Assessing the potential of minimum subtitle D lined landfill to pollute: alternative landfiling approaches. G. Fred Lee & Associates, El Macero, CA, march.

- LEI FEDERAL nº 4.771 (1965). Com as alterações dadas pelas Leis nº. 7803/89 e nº. 7875/89. Institui o novo Código Florestal. <http://www2.mma.gov.br/port/CGMI/lfa/lfa.htm>.
- LEITE, J. C. (1995). Metodologia para a elaboração da carta de susceptibilidade a contaminação e poluição das águas subsuperficiais. São Carlos. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- LOBER, D. J. (1995). Resolving the siting impasse: modeling social and environmental locational criteria with a geographic informatio system. Journal of the american planning association. v. 61, n. 4, p. 482 – 495.
- MANDELLI, S. M. C. (1991). Tratamento de resíduos sólidos: compêndio de publicações. Editado por Suzana Maria de Conto Mandelli, Luiz Mário Queiroz Lima e Mário K. Ojima. Caxias do Sul. 291 p.
- McBEAN, E. A, ROVERS, F. A , FARQUHAR, G. J. (1995). Solid waste landfill engineering and design. Chapter 3 – Site-selection methodologies. p. 39 – 56.
- MENEZES, R. S. (1994). O fenômeno do colapso: condicionantes e critérios de identificação. X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Foz do Iguaçu, Nov., Vol. 3. P. 1325 – 1332.
- MINISTRY OF ENVIRONMENT, LANDS AND PARKS (1988). Special waste regulation - waste management act. Province of British Columbia, Canada <http://www.qp.gov.bc.ca/stat-reg/regs/elp/r63-88.htm>.
- _____. (1993). The environmental protection compendium - landfill criteria for municipal solid waste. Province of British Columbia, Canada <http://www.env.gov.bc.ca/epd/cpr/criteria/lcmsw.html>.
- MONTENEGRO, A. A. A. (1990). Modelação matemática do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto. São Carlos: EESC-USP, 154 p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

- MORAES, L. R. S. (1997). Aspectos epidemiológicos relacionados aos resíduos sólidos domiciliares urbanos: um estudo de caso. 19^o Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. p. 1643-1649.
- NORONHA, S. M. (1998). Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Dissertação (mestrado). <http://www.eps.ufsc.br/dissert98/noronha>.
- OLIVEIRA, J. B. (1992). Classes de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201 p.
- PACE, P. J., SAVAGE, K. M. (1994). Computer-assisted site characterization: environmental data management, analysis, and visualization. In: Remediation of hazardous waste contaminated soils. Edited by Donald L. Wise, Debra J. Trantolo. New York: Marcel Dekker. Cap. 7, p. 125-145. (Environmental science and pollution control series; 8).
- PARAGUASSU, A. B., RODRIGUES, J. E., GANDOLFI, N., ZUQUETE, L. V., PORTILHO, E. Z. F. (1993). Arenito Botucatu silicificado: caracterização, exploração e usos. In: II Congresso ítalo-brasileiro de engenharia de minas. São Paulo (SP). p. 747 - 757
- POHL, D. H.; MARTIN, J. P.; PALMEIRA, E. M. (1994). Aspectos geotécnicos de solos tropicais usados como barreiras hidráulicas em aplicações ambientais. X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Foz do Iguaçu, Nov., Vol. 3. P. 947 – 954.
- PRADO, H. (1993). Manual de classificação de solos do Brasil. Jaboticabal, SP. FUNEP. 218 p.
- QUEIROZ, E. A. (1996). A utilização do sistema de informações geográficas no estudo da dinâmica do escoamento superficial em áreas urbanas: aplicação na

- Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos - SP. São Carlos: EESC-USP, 207 p. Dissertação (mestrado hid. san.) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- REBOUÇAS, A C. (1976). Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná – análise de pré-viabilidade. São Paulo: IGC-USP. 143 p. Tese (livre-docência). Instituto de Geociências, USP.
- RESOLUÇÃO CONAMA nº 001 (1986). <http://www2.mma.gov.br/port/CGMI/lfa/lfa.htm>.
- SALOMONS, W, STIGLIANI, W. M. (1995). Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments: risk assessment of delayed and non-linear responses. W. Salomons, W. M. Stigliani (eds.). Springer-Verlag, Berlin. 352 p.
- SARAIVA, R. M.; RODRIGUES, J. E. (1994). Aplicação de metodologia de mapeamento geotécnico como subsídio ao planejamento ambiental. X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Foz do Iguaçu, Nov., Vol. 3. p. 939 – 946.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE/Coordenadoria de planejamento ambiental de São Paulo (1991). Critérios de exigência de EIA/RIMA e roteiros para sua elaboração em relação a usinas de reciclagem e/ou compostagem, aterros para resíduos sólidos domiciliares e industriais e incineradores: manual de orientação. São Paulo, SMA/CETESB, 35 p. (série manuais).
- SETZER, J.; PORTO, R. L. (1987). Avaliação do escoamento superficial na estação chuvosa com base no levantamento de solos. São Paulo, Centro Tecnológico de Hidráulica – Departamento de Águas e Energia Elétrica. Boletim 9. 72 p.
- SIDDIQUI, M. Z., EVERETT, J. W., VIEUX, B. E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. Journal of Environmental Engineering. v. 122, nº 6, June. p. 515-523.

- SILVA, R. B. G., KIMMELMANN, A. A., REBOUÇAS, A. C. (1985). Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu – resultados parciais para a região norte da Bacia do Paraná. In: Congresso regional de geologia, 5, São Paulo (SP). v. 2, p. 489-502.
- SOUZA, F. C. B. (1999). Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas à disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Tese (doutorado). <http://www.eps.ufsc.br/teses99/souza/index.html>.
- SQUIERS, E. R., BAILEY, M., McPHEARSON, T., MEJEUR, R. (1995). An analyses of the spacial distribution of the major legal, environmental, and social/political constraints to landfill siting in the East Central Indiana Solid Waste District. Indiana Academy of Science Presentations.
- SYMEONAKIS, E. (1996). Landfill site selection for the greater Thessaloniki area using GIS and remote sensing. University College London (UCL), Dept. of Photogrammetry and Surveying. MSc. disertation. Chapter 3. p. 23 – 77.
- VALERIANO, O. C. S.; ESCALERA, O. A. N. (1998). Nuevo emplazamiento del relleno sanitario para el municipio de Cochabamba. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- WYOMING ENVIRONMENTAL QUALITY ACT (1997). W.S. 35-11-101 et seq. Industrial landfill regulations - chapter 3 - draft. Wyoming, USA. <http://deq.state.wy.us/SHWD/PRULREG/SW/Sw-ch3.htm>.
- ZUQUETE, L. V. (1987). Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. São Carlos: EESC/USP, SP, 3 v, 673 p. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

ZUQUETE, L. V., GANDOLFI, N. (1991). Análise da relação entre disposição de rejeitos de baixa periculosidade e meio geológico receptor. In: Simpósio sobre barragens de rejeitos e disposição de resíduos. Anais, Rio de Janeiro, ABMS, p. 221-232.