

# IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE SELEÇÃO DE ÁREAS

Isabela Coutinho LINO <sup>1</sup>, José Alexandre de Jesus PERINOTTO <sup>2</sup>,  
Leandro Eugenio da Silva CERRI <sup>2</sup>

(1) Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: isabelalino@gmail.com

(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.

Endereços eletrônicos: perinoto@rc.unesp.br; lescerri@rc.unesp.br

Introdução  
Materiais, Métodos e Técnicas  
Apresentação dos Dados  
    A Área de Estudo  
    O Método do IG-SMA (1999)  
    O Método de Basílio (2001)  
Discussões, Interpretações e Resultados  
Considerações Finais  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – A disposição final dos resíduos sólidos urbanos esteve historicamente associada aos surtos epidêmicos responsáveis por milhares de mortes nos centros urbanos. Contudo, apenas no século XIX iniciaram-se esforços para o desenvolvimento de métodos sanitários de disposição final. Ainda hoje, em países subdesenvolvidos predominam formas de disposição incorretas como os “lixões” e/ou menos aconselhadas como os “aterros controlados”, responsáveis por grande poluição ambiental e pela veiculação de doenças. Uma disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos se inicia com a escolha de locais favoráveis do ponto de vista ambiental. No presente artigo são comparados dois métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: o do Instituto Geológico do Estado de São Paulo - Secretaria de Estado do Meio Ambiente (1999), e o de Basílio (2001). Os referidos métodos foram escolhidos por terem sido desenvolvidos e aplicados (parcialmente) em uma mesma área geográfica (região de Campinas - SP). A comparação por superposição mostrou que apesar da área geográfica ser a mesma, os resultados de ambos foram diferentes. O fato é explicado pela diferença de escalas, critérios, atributos e classes, e chegou-se à conclusão que o método de Basílio (2001) apresentou menos áreas favoráveis à disposição de resíduos do que IG-SMA (1999) por ser mais restritivo em seus critérios de seleção.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos urbanos; aterros sanitários; seleção de áreas.

**ABSTRACT** – I.C. Lino, J.A. de J. Perinotto, L.E. da S. Cerri - *Landfill site selection: comparison of methods*. Historically, the incorrect waste disposal has been related to epidemics which resulted in thousand of deaths. Despite the efforts to develop sanitary disposal methods in the 19 century, even today, “uncontrolled dumps” are often found in undeveloped countries. These places are responsible for environment pollution and for several diseases. The process of adequate waste disposal begins with the selection of suitable landfill areas, based on environmental characteristics. The goal of this research was to compare two methods of landfill site selection: the first one developed by IG-SMA (1999), and the other by Basílio (2001). Both methods were developed and applied in the same area – region of Campinas, São Paulo State, Brazil and this fact explains the choice for them; the comparison was made by superposing maps. Despite the same geographic area, the result was very different and few areas in common were found; IG-SMA (1999) obtained more suitable areas than Basílio (2001). This has been attributed to scale, criteria and attribute differences and, as a conclusion, Basílio (2001) was considered more restrictive than IG-SMA (1999).

**Keywords:** municipal solid waste; landfill; site selection.

## INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos se constitui num dos problemas mais sérios da atualidade, pois está diretamente associada à qualidade ambiental e à saúde pública. Nesse contexto, países subdesenvolvidos (e em desenvolvimento, como o Brasil) apresentam situação mais crítica, pois nestes ainda predominam formas inadequadas de disposição, como

os lixões (vazadouros a céu aberto) e/ou menos aconselhadas, como os aterros controlados.

Nascimento (2001) considera que aterros controlados nada mais são do que “lixões maquiados”, por apresentarem praticamente os mesmos problemas ambientais que os lixões, como a poluição das águas, do solo e do ar. Brollo (2004) afirma que a prática da

disposição inadequada advém de um passado sem planejamento ambiental, responsável por inúmeras áreas degradadas.

A forma correta de dispor os resíduos sólidos urbanos é em aterro sanitário, cuja construção, operação (e encerramento) baseiam-se em critérios de engenharia e normas operacionais específicas (IPT/CEMPRE, 2000). Contudo, no Brasil, apenas 13,8 % dos municípios dispõem seus resíduos em aterros sanitários, contra 63,6 % em lixões e 18,4 % em aterros controlados (IBGE, 2000). A situação melhora um pouco, se considerarmos que os 13,8 % dos municípios brasileiros que dispõem seus resíduos em aterros sanitários são responsáveis por quase metade (47,1 %) do peso dos resíduos produzidos no Brasil (IBGE, 2000). Mas ainda assim a situação é crítica, pois mais da metade restante dos resíduos produzidos é disposta de forma inadequada, de modo disseminado pelo País.

Esse fato é preocupante, pois segundo a Organização das Nações Unidas (2007), as cidades menores abrigam cerca de 52 % da população urbana do mundo e, em 2008, pela primeira vez na História, mais da metade da população humana (3,3 bilhões de pessoas) estará vivendo em cidades. Em 2030 é esperado que esse montante chegue a mais de 5 bilhões de pessoas, sendo que muitas das novas áreas urbanas serão pobres, e conseqüentemente carentes de infraestrutura, inclusive serviços de coleta e disposição de resíduos (ONU, 2007).

Para Ferreira (2000), a introdução de novos produtos na vida moderna, e em quantidades crescentes, fez com que os resíduos domiciliares passassem a ser uma ameaça ao ambiente, e apresentassem itens classificados como perigosos. Dentre estes itens estão substâncias tóxicas, como os metais pesados, comumente presentes em pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes.

Mas não são apenas os materiais tóxicos presentes nos resíduos urbanos que representam perigos ao ambiente e à saúde pública (direta ou indiretamente). Vetores como moscas, baratas e ratos, principalmente, atraídos pela massa de lixo exposta (fonte de alimento e abrigo), transmitem diversos tipos de doenças, podendo provocar mortes.

Com base no exposto, a disposição final, enquanto última etapa do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, requer atenção especial. O primeiro passo para uma disposição final adequada inicia-se com a seleção de locais favoráveis para a implantação do aterro sanitário, principalmente do ponto de vista do meio físico, mas sem desconsiderar os aspectos dos meios biótico e socioeconômico. Áreas adequadas, além de promoverem a proteção ao ambiente e à saúde pública, representam menores gastos com as etapas

de implantação, operação e encerramento do empreendimento, proporcionando economia em todo o processo.

Como as características ambientais se diferem de uma região para outra, dentro de cada país (ou mesmo de cada Estado) surge a necessidade de desenvolver critérios, legislações e normas técnicas específicos para orientar a seleção de locais para disposição de resíduos. Em nível internacional, a questão é objeto de pesquisas há algumas décadas. Nos Estados Unidos, por exemplo, em 1993, a agência ambiental americana – U.S. EPA (*Environmental Protection Agency*) sistematizou critérios regionais para seleção de áreas para localização de aterros sanitários. Esses critérios incluem distâncias de segurança de: aeroportos, planícies de inundação, áreas alagadas, zonas de falhas, zonas de impacto sísmico e áreas de risco (EPA, 1993).

No Brasil, após alguns anos em desenvolvimento, em 1997 foi lançada a norma técnica relativa aos critérios de localização de aterros sanitários, a NBR 13896, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. A partir do final dos anos 1990, há o crescente desenvolvimento e aprimoramento de métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, devido, especialmente, ao maior acesso aos sistemas de informação geográfica, que possibilitaram o uso de diferentes técnicas de análise espacial.

Embora o objetivo seja semelhante (a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos), os métodos se diferem em relação ao tipo de abordagem (regional, semi-regional e local), critérios e atributos, e, por conseguinte, apresentam resultados peculiares, que suscitaram o interesse para a realização da pesquisa, cuja motivação inicial foi a existência de métodos aplicados (parcialmente) sobre uma mesma região geográfica (Campinas – SP), possibilitando uma análise comparativa.

Assim, foram comparados dois métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários aplicados em uma mesma área geográfica (em escala regional), visando identificar os elementos que levaram às diferenças nos resultados observados. Os métodos escolhidos foram: *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos*, desenvolvido por IG-SMA (1999), e *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas*, desenvolvido por Basílio (2001), baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994). A partir da superposição dos mapas de áreas adequadas para disposição final de resíduos sólidos, elaborados por ambos os métodos, buscou-se identificar e compreender as diferenças apresentadas, por meio da comparação de suas abordagens, critérios e atributos.

## MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

Os métodos utilizados na pesquisa foram os convencionais, ou seja, revisão da literatura, aquisição, entrada e processamento de dados, análise do resultado e redação final.

Os dados adquiridos foram imagens dos mapas em formato digital de ambos os métodos estudados e da Folha Topográfica Campinas escala 1:50.000 (IBGE, 1974). O mapa do IG-SMA (1999) foi obtido por meio do relatório do estudo em formato .pdf. Como se obteve apenas parte do mapa do IG-SMA (1999), esta parte foi utilizada para delimitar a área de estudo pelas coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822 (Figura 1), na parte centro-norte da Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974). O mapa do método

de Basílio (2001) foi obtido em formato TIF, e sua área corresponde à Folha Topográfica Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974).

A entrada de dados se iniciou com a inserção das imagens dos mapas no aplicativo Autodesk Map® 2004, devido à interface amigável deste aplicativo para as principais edições (vetorização de linhas e polígonos).

Para o processamento dos dados, optou-se pelo aplicativo ESRI® ArcMap. A superposição dos mapas de IG-SMA (1999) e Basílio (2001) foi feita por meio da ferramenta ArcToolbox – Analysis Tools – Overlay - Intersect. O resultado foi analisado à luz dos critérios, atributos e classes utilizados por ambos os métodos, permitindo-se chegar à explicação das diferenças.

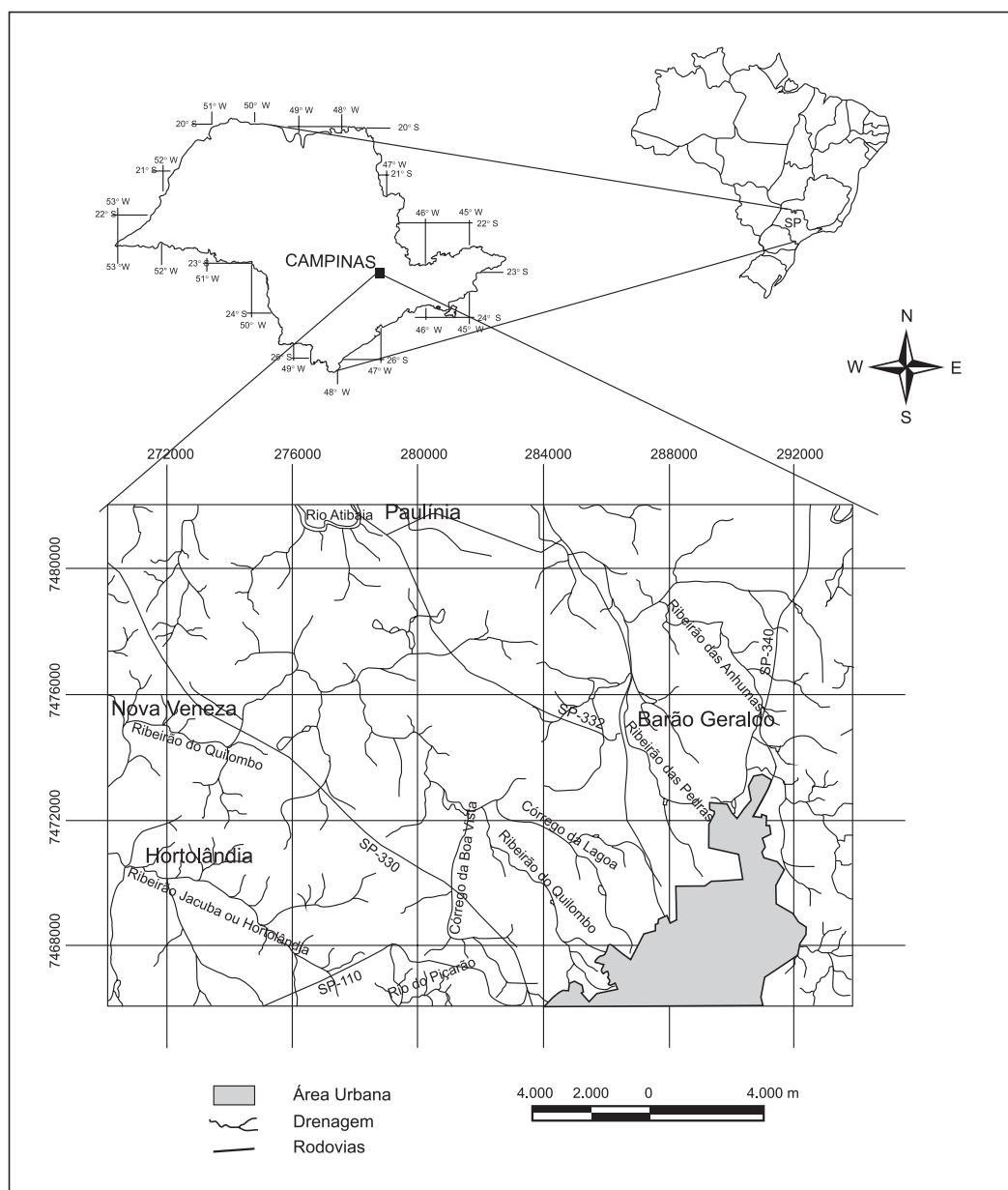


FIGURA 1. Localização da área de estudo.

## APRESENTAÇÃO DE DADOS

### A ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange, em sua maior parte, o município de Campinas, e uma pequena parte de Sumaré, Hortolândia, Paulínia e Nova Odessa, ocupando a área centro-norte da Folha Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974), entre as coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822 (Figura 1). A referida área corresponde à superposição encontrada para os dois métodos objeto de análise na presente pesquisa: IG-SMA (1999) e Basílio (2001).

Geologicamente, a área de estudo está situada em uma zona de transição entre dois domínios morfotectônicos: o Embasamento Cristalino e a Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando litologias características tanto de um domínio quanto de outro, embora a predominância seja das rochas da bacia, em especial do Grupo Itararé, com arenitos (diversos), argilitos e siltitos.

Em relação à rede hidrográfica, a Folha Campinas (IBGE, 1974) abrange parte das bacias dos rios Piracicaba e Atibaia (norte) e Capivari (sul), sendo ambas sub-bacias do Rio Tietê. A área de interesse para a presente pesquisa (Figura 1) está localizada, em sua maior parte, na bacia do Rio Atibaia (a norte), cujos cursos d'água principais são: Ribeirão das Anhumas, Ribeirão das Pedras, Ribeirão do Quilombo, Córrego da Lagoa e Córrego da Boa Vista. Apenas

um pequeno trecho faz parte da bacia do Rio Capivari (sul), representado pelo Rio do Piçarrão.

Em relação à geomorfologia, a região se encontra em uma zona de transição entre dois domínios morfológicos: Planalto Atlântico (a leste) e Depressão Periférica Paulista (a oeste), predominando a segunda, na Zona do Médio Tietê (IPT, 1981). Nessa zona as formas de relevo são do tipo colinas amplas e médias, com altitudes variando entre 600 e 650 m (IPT, 1981). Christofolletti (1968 b, segundo IPT, 1981) afirma que não há uma exata correspondência entre limites geológicos e geomorfológicos e atribui esse fato à grande espessura do manto de alteração, que cria nos afloramentos cristalinos condições de comportamento semelhantes aos das rochas sedimentares. O relevo montanhoso do Planalto Atlântico cede lugar às colinas da Depressão Periférica, que não estão diretamente vinculadas às litologias sedimentares; estas avançam por sobre rochas graníticas, metamórficas e migmatíticas do embasamento (IPT, 1981).

Do ponto de vista socioeconômico, a Região Metropolitana de Campinas possui grande importância no Estado de São Paulo. Destaca-se o setor de serviços (Tabela 1), com 42,55 % da mão de obra empregada, seguido pelo industrial, com 33,28 %, sendo que o segundo emprega o maior número de pessoas na indústria, comparado às demais regiões metropolitanas do Estado (SEADE, 2000).

**TABELA 1.** Empregos no Estado de São Paulo e em suas Regiões Metropolitanas (em %).

Empregos	Agropecuária	Indústria	Construção civil	Comércio	Serviços
Total Estado São Paulo	3,89%	24,03%	3,84%	16,40%	51,84%
RM da Baixada Santista	0,72%	8,71%	5,81%	19,58%	65,18%
RM de São Paulo	0,27%	21,20%	4,14%	15,12%	59,26%
RM de Campinas	2,19%	33,28%	3,70%	18,28%	42,55%

Fonte: Seade (2000).

### O MÉTODO DE IG – SMA (1999)

O método *Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos* foi desenvolvido por IG-SMA (1999) com o objetivo de desenvolver critérios específicos para a seleção das áreas potenciais para tratamento e disposição de resíduos sólidos domésticos e industriais (IG-SMA, 1999). Deste modo, o referido método parte do princípio de que uma correta localização do empreendimento

representa menor risco de degradação ambiental e à saúde pública.

O método foi desenvolvido na Região Metropolitana de Campinas (SP), composta por dezoito municípios, em escala regional (1:100.000). Os dados foram obtidos principalmente por meio de interpretação de imagens de satélite TM-Landsat (com checagem de campo), e todas as informações (mapas, dados, fotos) foram armazenadas no banco de dados do sistema de informação geográfica MapInfo.

O IG-SMA (1999) definiu em sua estratégia metodológica (Figura 2) quatro aspectos essenciais para a escala de trabalho, sendo respectivamente: aspectos sócio-políticos, fisiográficos, hidrogeológicos e climáticos. Os aspectos sócio-políticos indicam as áreas que, independentemente dos demais aspectos, não podem ser utilizadas para a disposição de resíduos, por

estarem ocupadas ou por possuírem restrições legais (como áreas urbanas, vazios urbanos – áreas de expansão urbana, unidades de conservação ambiental). As áreas sem restrições (rurais) passam para análise do ponto de vista fisiográfico – suscetibilidade a processos geodinâmicos –, da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos e dos aspectos climáticos.

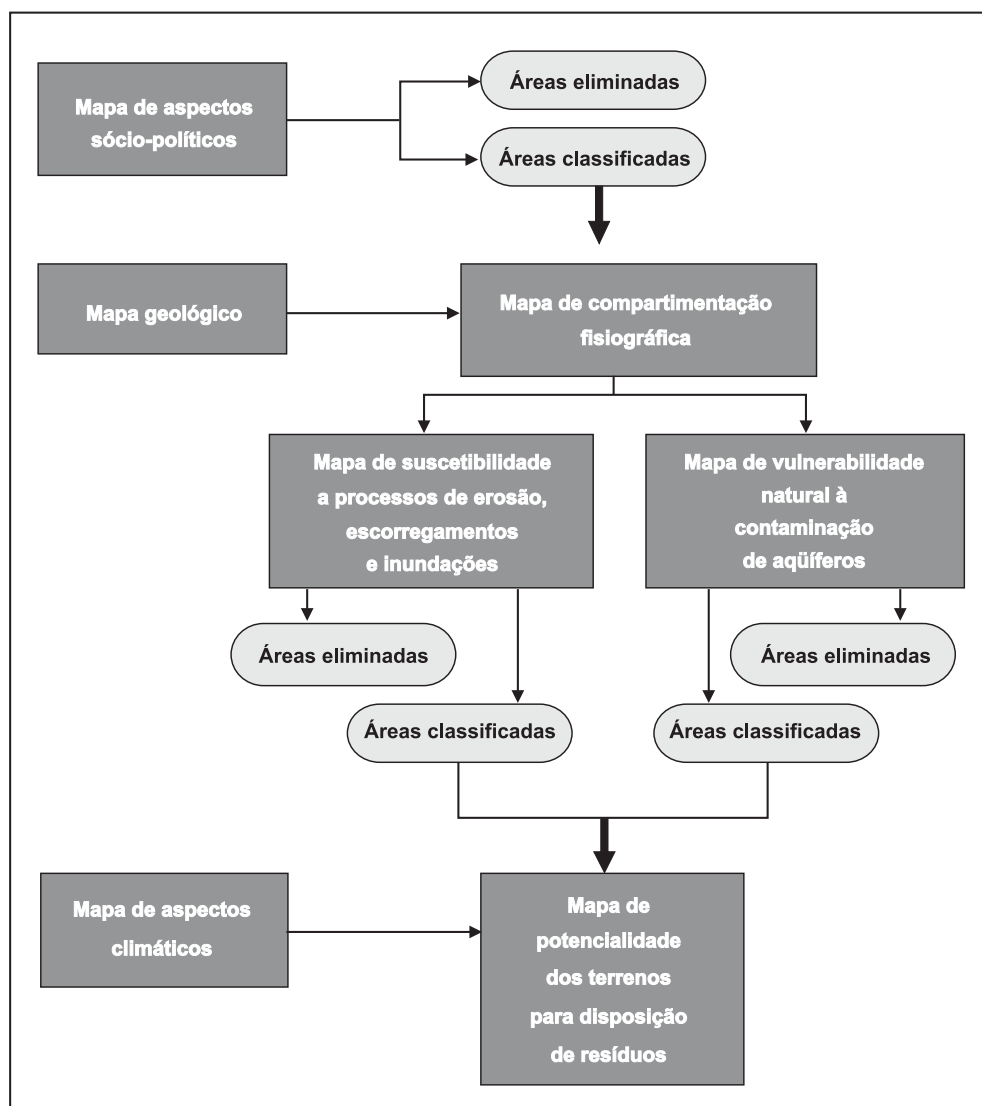


FIGURA 2. Estratégia metodológica do IG-SMA (1999).

### O MÉTODO DE BASÍLIO (2001)

O método *Proposta de Procedimentos para Seleção Preliminar de Áreas para Aterros Sanitários a partir de Cartas Geotécnicas* foi desenvolvido por Basílio (2001), baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994). O objetivo foi verificar a possibilidade de uso de documentos produzidos nos mapeamento geotécnicos para a produção de uma carta orientativa à instalação de aterros sanitários, considerando apenas

fatores relativos ao meio físico e deixando para etapas posteriores os aspectos do meio biótico e socio-econômico.

O referido método foi desenvolvido na área compreendida pela Folha Topográfica Campinas 1:50.000 (IBGE, 1974), composta por parte de seis municípios, e em escala regional (1:50.000). Os dados foram obtidos por meio de trabalhos de caracterização existentes, com a superposição de cartas realizada



manualmente e posterior digitalização em aplicativo AutoCAD®.

Basílio (2001) definiu em sua estratégia metodológica cinco agrupamentos de atributos e combinações de cartas (Figura 3). A Carta 1 é resultado do agrupamento dos atributos nível d'água em profundidade menor que 5 m, zonas alagáveis e inundáveis; a Carta 2 é o agrupamento da profundidade do substrato rochoso e da zona saturada; a Carta 3 é o agrupamento dos atributos relacionados ao material inconsolidado (mineralogia, textura e variação do perfil, condutividade hidráulica, colapsividade, erodibilidade, compressibilidade, grau de compactação e expansibilidade); a Carta 4 é o

agrupamento dos atributos relacionados às rochas (tipos litológicos, existência de blocos de rocha no material inconsolidado, grau de fraturamento, mineralogia, condutividade hidráulica no maciço e grau de solubilidade e expansibilidade dos minerais presentes nas rochas); e a Carta 5 é o agrupamento dos atributos relacionados à declividade. As cartas são combinadas seguindo o fluxograma da Figura 3.

As unidades que não atendem aos critérios estabelecidos pelo método são eliminadas, porém, ao contrário de IG-SMA (1999), permanecem nas combinações seguintes. O resultado final das combinações é a carta orientativa, que indica as áreas favoráveis à instalação de aterros sanitários.

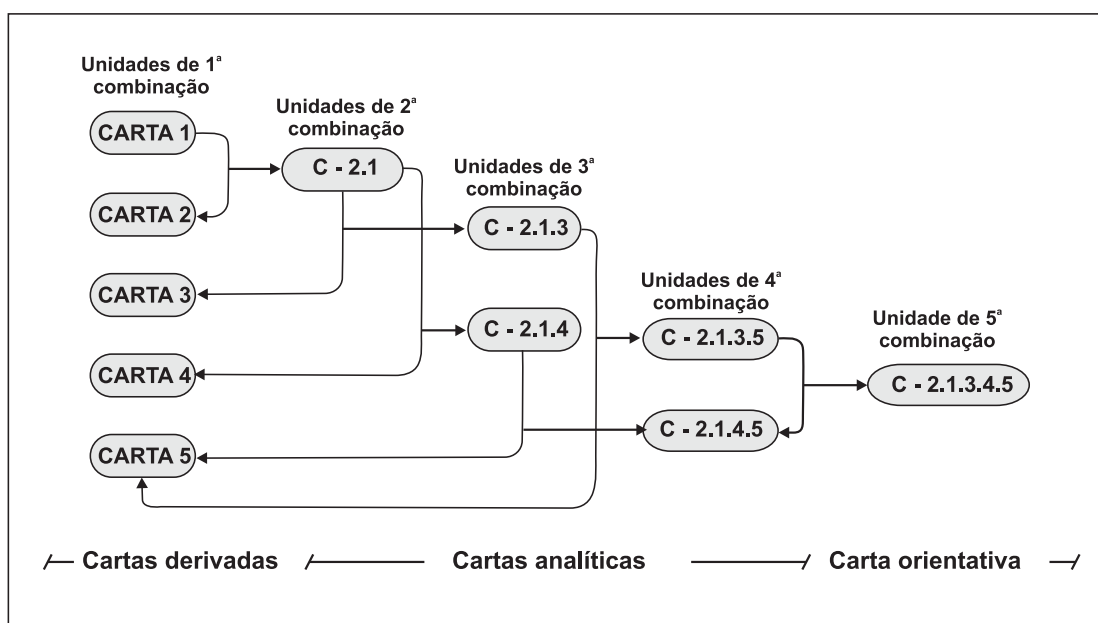


FIGURA 3. Estratégia metodológica de Basílio (2001).

## DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÕES E RESULTADOS

A comparação entre os métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001) permite apontar semelhanças e diferenças entre ambos (Quadro 1). Embora os métodos tenham sido desenvolvidos em caráter regional, o tamanho da área e das escalas de trabalho se diferem, justificando, em parte, a diferença nos resultados obtidos em uma mesma área (Figura 4). Isso porque IG-SMA (1999) trabalhou com uma área extensa (Região Metropolitana de Campinas) em uma escala menor (1:100.000), enquanto Basílio (2001) trabalhou com uma área menor (Folha Campinas – IBGE, 1974) com uma escala maior (1:50.000), o que conferiu naturalmente ao segundo maior nível de detalhe. Para tornar a comparação possível foi realizado

um recorte da área comum aos dois métodos (parte centro-norte da Folha Campinas 1:50.000 – IBGE, 1974), com a apresentação dos resultados da presente pesquisa em escala 1:100.000 (Figura 4).

A escala é, sem dúvida, um dos fatores que justificam a diferença de resultados, gerando poucas áreas comuns em ambos os métodos estudados (Figura 4 – área hachurada). Contudo, ao analisar os aspectos e atributos de cada método verifica-se que a maior diferença entre ambos deve-se ao caráter mais restritivo do método de Basílio (2001). Ao adaptar o método de Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) para as características locais, Basílio (2001) considerou os seguintes atributos como restritivos:

- Profundidade do substrato rochoso e do nível d'água menores que 10 m;
- Áreas alagáveis e inundáveis;
- Materiais inconsolidados (solo) dos tipos: arenosos, aluvionares, hidromórficos e de qualquer tipo com espessura menor que 2 m;
- Litologia do substrato rochoso composta somente por arenitos;
- Declividades maiores que 20 %, menores que 2 % e de 10 a 20 %.

Esses foram os principais fatores de restrição de áreas na carta orientativa (final) de Basílio (2001). O referido método, baseado apenas nas características do meio físico, mostrou-se mais restritivo para a

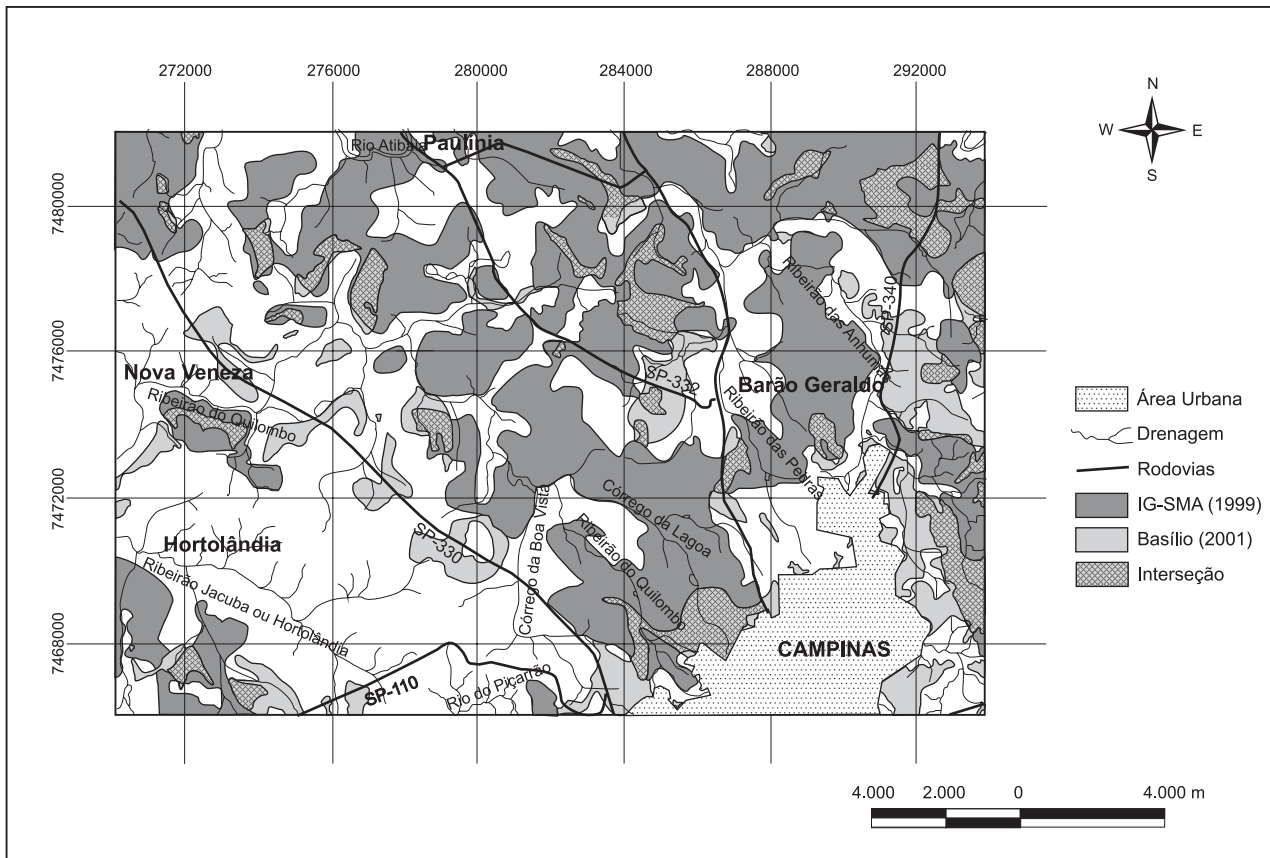
definição de áreas para disposição de resíduos, que resultou na indicação de poucas áreas, se comparado ao método de IG-SMA (1999).

O método de IG-SMA (1999) é menos restritivo nos critérios de classificação e eliminação das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), em relação à suscetibilidade a processos de erosão, escorregamento (somente no Embasamento Cristalino), inundação e vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação. O referido método eliminou as UBCs que apresentaram:

- Alta suscetibilidade à erosão, escorregamento e inundação; e,
- Alta vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos.

**QUADRO 1.** Comparação entre IG-SMA (1999) e Basílio (2001).

Item	IG-SMA (1999)	Basílio (2001)
1. Área de aplicação	Região metropolitana de Campinas/SP – 18 municípios.	Folha Campinas (IBGE, 1974) – parte de 6 municípios.
2. Método	Desenvolvido e aplicado.	Baseado em Zuquette (1993) e Zuquette et al. (1994) - com adequações.
3. Escala	Regional 1:100.000	Regional 1:50.000
4. Área em comum	Coordenadas UTM 7.466.076 e 7.482.008 e 270.110 e 293.822	
5. Tipo de Abordagem	Fisiográfica: UBCs (Unidades Básicas de Compartimentação), análise integrada da paisagem.	Paramétrica: Agrupamento de atributos de cada aspecto considerado (separadamente).
6. Técnica de análise espacial	Lógica booleana: áreas com potencialidade para recebimento de resíduos e áreas eliminadas (indicando por qual aspecto). Cruzamento de dados automatizado (uso de SIG).	Lógica booleana: áreas sem restrição para disposição de resíduos e áreas com restrição para disposição de resíduos. Cruzamento de dados manual (e posterior digitalização).
7. Aspectos considerados	Sócio-políticos; fisiográficos; hidrogeológicos e climáticos.	Meio físico (aspectos geotécnicos).
8. Estratégia metodológica	Estabelece critérios de classificação/eliminação para cada aspecto considerado. As áreas eliminadas por aspecto sócio-político não são objeto das investigações seguintes. As áreas classificadas nos aspectos sócio-políticos seguem à seguinte seqüência de investigação: aspectos fisiográficos, hidrogeológicos e climáticos.	Parte da combinação de cartas derivadas e analíticas para se chegar à carta orientativa. Durante o processo de combinação são indicadas as áreas com restrição e sem restrição. Porém as áreas com restrição não são excluídas das combinações seguintes.
9. Características das áreas selecionadas	<p><b>Aspectos</b></p> <p><b>- Socioeconômicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• grandes equipamentos 2; Rural;</li> </ul> <p><b>- Fisiográficos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Suscetibilidade à erosão (bacia): média e baixa;</li> <li>• Suscetibilidade erosão/ escorregamento (cristalino): média e baixa;</li> <li>• Suscetibilidade à inundação: média e baixa.</li> </ul> <p><b>- Hidrogeológicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos: alta a média, média e baixa.</li> <li>• Método mais qualitativo.</li> </ul>	<p><b>Substrato rochoso:</b> 10-20 m ou &gt; 20 m;</p> <p><b>Nível d'água:</b> &gt; 10 m;</p> <p><b>Inundações e alagamentos:</b> não ocorrem;</p> <p><b>Materiais inconsolidados:</b> residuais do diabásio/ mistos do diabásio + finos do Grupo Itararé; residuais e derivados do siltito/ argilito; materiais intermediários;</p> <p><b>Litologia:</b> diabásios; arenitos, siltitos, argilitos e lamitos; gnaisses;</p> <p><b>K do maciço:</b> entre <math>10^{-4}</math> a <math>10^{-7}</math>;</p> <p><b>Declividade:</b> de 2 a 10%.</p> <p>Método mais quantitativo.</p>



**FIGURA 4.** Superposição dos métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001).

As UBCs que apresentaram médias e baixas suscetibilidades à erosão, escorregamentos e inundação e, alta a média, média, baixa e não definida vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos foram classificadas para a disposição final de resíduos sólidos. Esse fato justifica o maior número de áreas selecionadas para disposição de resíduos pelo método de IG-SMA (1999) observado na Figura 4. Observa-se ainda que o método não realizou os estudos de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no domínio do Embasamento Cristalino, e mesmo assim, as áreas foram selecionadas.

Se por um lado, o método do IG-SMA (1999) é menos restritivo nos critérios de classificação, por outro, abrange aspectos dos meios biótico e socioeconômico, adiantando o trabalho para as etapas posteriores (de investigações semi-regional e local). Esse fator é uma vantagem comparado ao método de Basílio (2001), que considera apenas aspectos do meio físico, deixando para as etapas de investigações seguintes os aspectos dos meios biótico e socioeconômico, que certamente excluirão áreas consideradas aptas do ponto de vista do meio físico, mas que se localizam em áreas urbanas ou de conservação ambiental, por exemplo.

Em ambos os métodos analisados, não há hierarquização das áreas com maior ou menor potencial para disposição de resíduos: todas as áreas selecionadas são colocadas num mesmo nível, o que indica o uso da lógica booleana.

Apesar dos métodos contribuírem com a sistematização de aspectos, atributos e critérios, não trazem avanços significativos em relação às técnicas de análise espacial. A análise multicriterial ponderada, ao contrário da lógica booleana, se aproxima mais da realidade, possibilitando mudanças gradativas entre um estágio e outro, como ocorre na paisagem, em geral. A lógica booleana é dualista e estabelece apenas duas respostas possíveis: áreas adequadas ou inadequadas para disposição de resíduos, não havendo níveis intermediários entre uma e outra, como aconteceria com a análise multicriterial ponderada.

Nos últimos anos, tem-se observado a tendência de incorporar nos métodos de seleção de áreas para disposição de resíduos, um uso maior de quantificação, visando aproximar os modelos da realidade e embutir nas análises os riscos associados às decisões, com a criação de diferentes cenários para escolha.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O contato com métodos de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários permite afirmar que não há um método padrão, adequado a todas as realidades. Segundo Brollo (2004), os parâmetros de análise são inerentes às áreas estudadas e só é possível estabelecer regras rígidas para classes de parâmetros quando há legislação específica.

No caso brasileiro, há outros tipos de dificuldades associadas ao desenvolvimento e aplicação de métodos, como a não disponibilidade de dados no formato necessário, problema muitas vezes contornado com a inferência de atributos a partir de outros. Destaca-se que ambos os métodos analisados se utilizaram desse recurso.

A comparação dos métodos de IG-SMA (1999) e Basílio (2001) permite afirmar que mesmo se tratando de uma mesma área geográfica, a escala, os critérios, parâmetros e atributos podem levar a resultados muito diferentes. No presente contexto não cabe julgamento entre os métodos, uma vez que ambos foram baseados em critérios técnicos. Contudo, a diferença entre ambos reside no fato do método de Basílio (2001) ser ainda mais restritivo que os critérios técnicos da NBR 13896 (ABNT, 1997), o que pode ser considerado um fator positivo.

Outra questão importante, no âmbito da seleção de áreas para disposição final em nível regional, refere-se à possibilidade da formação de consórcios intermunicipais para o gerenciamento conjunto do problema.

Isso porque dificilmente um município de porte pequeno tem condições de individualmente proporcionar um gerenciamento integrado (adequado) de seus resíduos sólidos urbanos, especialmente em relação à disposição final em aterros sanitários. Esta última etapa (disposição final), freqüentemente esbarra na indisponibilidade de áreas adequadas, ou mesmo na incapacidade financeira diante dos elevados custos de um aterro sanitário, para a realidade brasileira.

Sugere-se, diante do exposto, como tema para pesquisas futuras, a adequação e aplicação de métodos de seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos urbanos em nível de bacia hidrográfica (escala regional), uma vez que esta é, por excelência, uma unidade físico-territorial de planejamento.

Uma vez que o ambiente não reconhece limites políticos, os municípios a jusante da bacia são os mais prejudicados quando das práticas ambientais inadequadas dos municípios a montante. Se cada bacia hidrográfica resolver o problema da disposição final de forma integrada, certamente a atitude local (regional) terá uma repercussão global.

Por fim, é necessário reverter o quadro atual, fortemente marcado por formas inadequadas e/ou menos aconselhadas de disposição, como lixões e aterros controlados, respectivamente, bem como evitar o surgimento de futuras áreas de disposição inadequadas, cujos efeitos nocivos ao ambiente, e, principalmente à saúde pública são bastante conhecidos.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida durante a realização do Mestrado da primeira autora no Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente (IGCE/UNESP-Rio Claro).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896: **Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
2. BASÍLIO, J.A.F. **Proposta de Procedimentos para seleção preliminar de áreas para aterros sanitários a partir de cartas geotécnicas**. Rio Claro, 2001. 120 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
3. BROLLO, M.J. Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. In: RESID'2004 SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2004.
4. EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Solid Waste Disposal Facility Criteria: Technical Manual**. Washington, D.C., 1993. Disponível em <<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/landfill/techman/index.htm>>. Acesso em 30jun2006.
5. FERREIRA, J.A. Resíduos Sólidos: perspectivas atuais. In: SISINNO, C.L.S.; OLIVEIRA, R.M. (Org.). **Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1a. ed., p. 19-40, 2000.
6. IBGE. **Campinas**. Folha Topográfica. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro, 1974.
7. IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/>>

- populacao/condicao/condicao/pnsb/pnsb.pdf>. Acesso em: 12jul2006.
8. INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos**. BROLLO, M.J.; SILVA, P.C.F. (Coord.) Relatório Técnico. São Paulo: IG / SMA, 1999.
  9. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, vol. I, 1981.
  10. IPT & CEMPRE. **Lixo Municipal**. Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: Publicação IPT 2622, 2a. ed., 2000.
  11. NASCIMENTO, M.C.B. **Seleção de sítios visando a implantação de aterros sanitários com base em critérios geológicos, geomorfológicos e hidrológicos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo.
  12. ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth**. New York: 2007. Disponível em: <www.unfpa.org>. Acesso em: 20set2007.
  13. SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Informação dos municípios paulistas. Disponível em: <www.seade.gov.br>. Acesso em 17out2007.
  14. ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. São Carlos, 1993. 368 p., 2 v. Tese (Livre-docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
  15. ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELI, O. Methodology for specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. In: INTERNATIONAL IAEG CONGRESS, 7, 1994, Rotterdam. **Anais...** Balkerna, Rotterdam, 1994, p. 2481-2489.

*Manuscrito Recebido em: 20 de novembro de 2007  
Revisado e Aceito em: 25 de fevereiro de 2008*