

CRITÉRIOS GEOAMBIENTAIS APLICADOS À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ESTIVA GERBI (SP)

GEOENVIRONMENTAL CRITERIA APPLIED FOR SELECTION AREAS TO DISPOSAL OF URBAN SOLID WASTE IN ESTIVA GERBI CITY (SP)

Lealdini, M.L.C.; Zaine, J. E.

Mestre em Geociências e Meio Ambiente, IGCE, Unesp, Rio Claro. *e-mail:* malucl@terra.com.br

Depto Geologia Aplicada, IGCE, Unesp, Rio Claro. *e-mail:* jezaine@rc.unesp.br

RESUMO

O Município de Estiva Gerbi, no interior do Estado de São Paulo, área de estudo, tem uma população de 10.233 habitantes (BRASIL, 2006) e gera, diariamente, 4,4 toneladas de resíduos sólidos urbanos, dos quais 32,8% representam materiais recicláveis. A coleta regular municipal atende 99% dos domicílios, porém, desde 1993, os resíduos são depositados inadequadamente em uma área caracterizada como passivo ambiental, de antiga cava de mineração de argila. Não há controle dos resíduos depositados, nem do acesso à área (pessoas ou veículos), o que permite que catadores efetuem triagem de recicláveis como também o lançamento clandestino de resíduos industriais (não inertes). Além das dificuldades financeiras, administrativas e técnicas, o município tem sido autuado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). A atual situação do sistema municipal de resíduos sólidos urbanos foi caracterizada como base de estudos para a formulação de diretrizes específicas ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. Como parte da pesquisa desenvolvida, foram estudadas e analisadas as características geológico-geotécnicas, em 6 unidades de análise do meio físico, definindo assim áreas com restrições e potencialidades à implantação de um aterro sanitário e, desta forma, definir critérios geoambientais de orientação à pré-seleção de áreas com tal finalidade. Essa etapa de estudo teve por objetivo utilizar instrumentos de planejamento ambiental para pré-selecionar áreas adequadas, do ponto de vista

Recebido em: 09/03/2007	<i>HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 30</i>
Liberado para Publicação em: 28/02/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

geológico-geotécnico à implantação do aterro sanitário em Estiva Gerbi (SP). Os resultados demonstraram que o modelo utilizado pode ser aplicado para orientar outros pequenos municípios, com problemas semelhantes.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Aterro sanitário. Características geoambientais. Unidades Geológicas geotécnicas. Estiva Gerbi.

ABSTRACT

The studied area Estiva Gerbi city, located in the countryside of the State of São Paulo, it has 10.233 inhabitants (BRASIL, 2006) and generates daily 4.4 tons of solid urban waste, from which 32.8% represent recyclable materials. Regular municipal collection attends 99% of the dwellings, however since 1993 the waste has been disposed inadequately in an area characterized as environmental liability, from abandoned clay mining. There is no control of the waste deposited, nor of the access to the area (people and vehicles), which allows scavengers to perform the selection of recyclables as well as the dumping of clandestine industrial waste (not inert). Besides the financial, administrative and technical difficulties, the city has suffered constant bookings by the CETESB (Environmental Agency). The current situation of the municipal system for urban solid waste has been characterized as basis of studies for the elaboration of specific guidelines as to the integrated management of urban solid waste. As part of the developed research, geological-geotechnical characteristics were studied and analyzed in 6 physical environment units, defining this way the areas with restrictions and potential for the implantation of a landfill site, and this way define guiding geoenvironmental criteria for the pre-selection of areas for such purpose. This study phase had as objective to use environmental planning instruments for the pre-selection of adequate areas, from the geological-geotechnical point of view, to the implantation of the landfill site. The results have shown that the model used may be applied to orientate other small cities with similar problems.

Keywords: Solid waste. Sanitary landfill, Geoenvironmental characteristics. Geological geotechnical units. Estiva Gerbi.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e tecnológico que vem se processando na maioria dos países e no Brasil interfere na qualidade ambiental, não só nas grandes concentrações urbanas, como também nas médias e pequenas cidades. Verifica-se que a maioria dos municípios brasileiros apresenta dificuldades e características semelhantes quanto aos problemas ambientais, principalmente com relação à disposição final dos resíduos sólidos urbanos (lixo municipal) que produz, a qual geralmente é efetuada sem adequado planejamento e gerenciamento integrado.

Recebido em: 09/03/2007	<i>HOLOS Environment</i> , v.8 n.1, 2008 - P. 31
Liberado para Publicação em: 28/02/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

Atualmente, pode-se considerar que as administrações municipais são as responsáveis pelo gerenciamento dos seus resíduos sólidos urbanos, desde a coleta até a destinação final. Para o estabelecimento de um gerenciamento adequado desses resíduos, pressupõe-se a preconização de programas e ações integradas, que institucionalizadas tornem-se instrumentos de política pública de saneamento ambiental, mas verifica-se que a maioria dos municípios apresenta dificuldades, tais como: limitações financeiras, descontinuidade político-administrativa, falta de instrumentos de controle ambiental e pouca conscientização da população quanto aos problemas ambientais. Além disso, os municípios de pequeno porte apresentam características diferenciadas em relação aos grandes centros urbanos quanto ao uso e ocupação do solo, e carecem de capacitação técnica e de instrumentos de orientação técnica para o planejamento ambiental.

A problemática agrava-se com a presença de catadores em ruas e lixões, o que tem levado muitas administrações municipais a organizar os catadores de materiais recicláveis em associações ou cooperativas com a finalidade de gerar trabalho, renda, e melhoria da qualidade de vida, retirando-os das áreas de risco. Porém, essas iniciativas não são suficientes, pois a deposição de resíduos sólidos em “lixões” ainda é a prática mais utilizada, tornando-se necessário que as administrações municipais desenvolvam ações integradas para gerenciar os resíduos sólidos urbanos (da coleta à disposição final) e que o façam de forma ambientalmente adequada.

Uma das alternativas possíveis é a seleção de alternativas tecnológicas de disposição final que atenda às condições específicas desses municípios, tanto do ponto de vista sanitário e ambiental, como econômico. Para tanto, o estudo do meio físico como uma etapa preliminar é fundamental, configurando-se assim o mapeamento geológico-geotécnico como importante instrumento de análise das características geológicas e geomorfológicas para subsidiar a pré-seleção de áreas aptas à implantação do sistema de disposição final selecionado.

O Município de Estiva Gerbi apresenta sérios problemas quanto à destinação final dos resíduos sólidos que produz. A coleta regular atende 99,39% dos domicílios urbanos (BRASIL, 2006), porém os resíduos sólidos coletados são depositados em área constituída por antigas cavas de extração de argila. A área caracteriza-se como “lixão” ou “vazadouro”, pois os resíduos são depositados a céu aberto. Não há controle das quantidades e tipos de resíduos ali depositados, nem do acesso de veículos ou pessoas ao local. A situação agrava-se ainda mais com a presença de catadores que efetuam a triagem e a coleta dos materiais recicláveis. Devido à gravidade da situação do local, a administração municipal tem sofrido diversas autuações da CETESB. Além disso, o município não possui recursos financeiros suficientes para viabilizar a implantação de programas e projetos específicos para conscientizar os impactos estabelecidos.

Com base no diagnóstico do atual sistema de destinação final de resíduos sólidos urbanos e na caracterização de unidades de análise do meio físico, denominadas de “unidades geológico-geotécnicas” por Cândido (2004), foi efetuada

Recebido em: 09/03/2007	<i>HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 32</i>
Liberado para Publicação em: 28/02/2008	<i>ISSN:1519-8634 (ON-LINE)</i>

avaliação quanto às restrições e potencialidades à implantação de um aterro sanitário para cada uma destas unidades, e, desta forma definiram-se critérios geoambientais de orientação à pré-seleção de áreas com tal finalidade. Esse estudo teve por objetivo utilizar instrumentos (ferramentas) de planejamento ambiental para pré-selecionar áreas adequadas, do ponto de vista geológico e geotécnico para implantação de um aterro sanitário no Município de Estiva Gerbi (SP).

2. ÁREA DE ESTUDO

O Município de Estiva Gerbi possui 73,9 km² e destes, 66,9 Km² correspondem à área rural, e 7 Km² corresponde à área urbana. Localiza-se na região leste do Estado de São Paulo, e está inserida nas folhas topográficas na escala 1: 50.000, IBGE, Folhas topográficas: Mogi Guaçu SF-23-Y-A-III-3 e Aguai SF-23-Y-A-III-1 (BRASIL, 1972). Os municípios limítrofes são: Mogi Guaçu e Espírito Santo do Pinhal.

Seus principais curso d'água são: o Córrego dos Ypês, o Ribeirão Anhumas e o Rio Oriçanga. O município de Estiva Gerbi está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-09), que correspondente a Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (GOMES, 2003). O município pertence à Região Administrativa de Campinas (RA5), conforme mostra a Figura 1 e localiza-se a 69 km de Campinas, com acesso no km 178 da Rodovia SP 340.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, (BRASIL, 2006), o Município de Estiva Gerbi tem o seguinte perfil de sua população:

- população residente na área urbana: 7.642 habitantes;
- população residente na área rural: 1.214 habitantes;
- população total: 8.856 habitantes;
- densidade demográfica : 119,17 hab/km; e,
- população estimada (2005): 10. 233 habitantes.

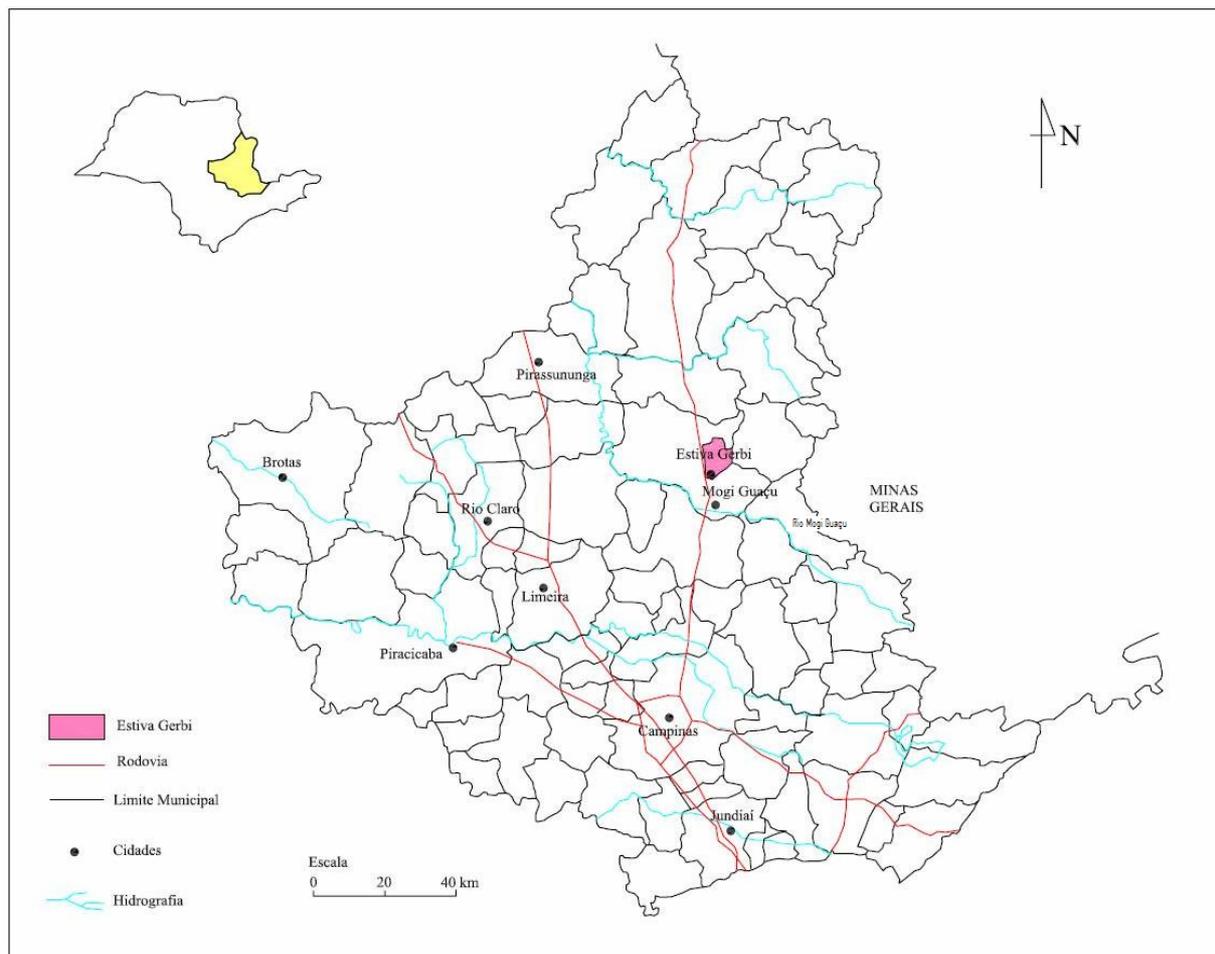


Figura 1. Localização do Município de Estiva Gerbi na Região Administrativa de Campinas.

Fonte: Brasil, (2006) modificado por Lealdini, (2006).

A economia do Município baseia-se principalmente na indústria cerâmica, de refratários, de produtos químicos, papel e embalagem e atividade agropecuária (ESTIVA GERBI, 2004). Em 2005, a Indústria Cerâmica Gerbi, encerrou suas atividades e dispensou muitos funcionários, o que provocou um alto índice de desemprego, muitos encontraram recolocação apenas como trabalhadores temporários nas safras agrícolas da região.

O Município de Estiva Gerbi está inserido no regime climático de transição entre o muito úmido subtropical, com estações secas marcantes (Mu-Cw), com as temperaturas médias no verão girando em torno de 24°C e as temperaturas mínimas próximas de 16°C. Os totais mensais de chuvas, levantados a partir das medições efetuadas pelas estações e postos meteorológicos da região, mostram que as máximas ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e as mínimas, nos meses de junho, julho e agosto sendo sua precipitação média anual em torno de 1300 mm/ano (SETZER, 1976 apud CÂNDIDO, 2004).

Segundo o mapa geomorfológico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), o município situa-se, regionalmente, na transição entre dois domínios

<i>Recebido em: 09/03/2007</i>	<i>HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 34</i>
<i>Liberado para Publicação em: 28/02/2008</i>	<i>ISSN:1519-8634 (ON-LINE)</i>

geomorfológicos: Depressão Periférica e Planalto Atlântico. O limite desses terrenos é coincidente com o contato entre as rochas do Embasamento Cristalino e a Bacia Sedimentar do Paraná. A geomorfologia local encontra-se inserida na Depressão Periférica, na zona do rio Mogi Guaçu. Neste, encontra-se relevo de degradação em planaltos dissecados, sendo relevos colinosos com predominância de baixa declividade (até 15%) e pertencem a duas classes: 212 (colinas amplas) e 213 (colinas médias).

Quanto aos aspectos geológicos, a unidade de maior ocorrência no município é a Formação Aquidauana, com destaque para a presença de lamitos, que afloram praticamente em toda a área. Secundariamente, ocorrem arenitos interdigitados com os argilitos, restritos à porção leste da área urbana. As coberturas cenozóicas (outra unidade geológica), ocorrem discordantemente sobre a Formação Aquidauana. Os fundos de vales apresentam depósitos aluvionares, com argilas e areias inconsolidadas de várias colorações. Os aluviões merecem destaque, pois são ocupados por parte da área urbana de Estiva Gerbi (CÂNDIDO, 2004).

A origem e desenvolvimento do município ocorreram em grande parte em função da argila denominada “Taguá”, existente em sua área territorial. A atividade de exploração deste bem mineral trouxe como consequência para o município um passivo ambiental, apresentando diversas áreas degradadas, compostas por cavas (secas e submersas) e pilhas de bota-fora, e em sua maioria utilizadas de forma inadequada, inclusive agravando os impactos ambientais, tal como ocorre com a antiga cava de mineração utilizada para deposição de resíduos sólidos. As lavras de argila e argilitos no município são classificadas como a céu aberto e ocupam grandes áreas urbanas (MASCARENHAS, 1989, apud CÂNDIDO; ZAINÉ, 2005). A foto aérea do ano de 2000 mostra diversas cavas de mineração abandonadas no município e próximas à sede urbana e destaca a área atualmente ocupada inadequadamente pelo lixão municipal (Figura 2).

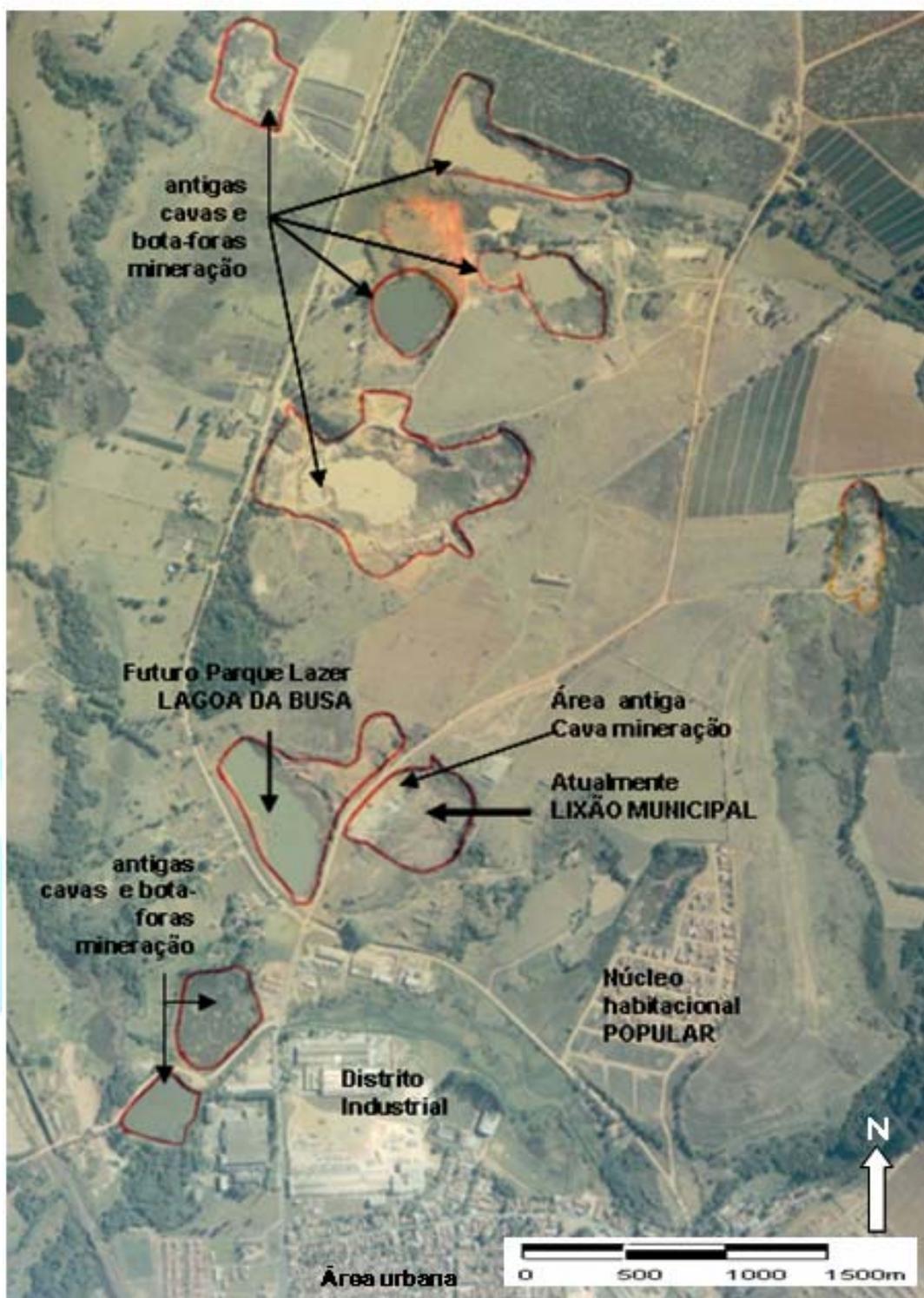


Figura 2. Foto aérea do ano de 2000 com panorama das cavas de mineração, próximas à área urbana - Unidade VI.

Fonte: Cândido, (2004), modificado por Lealdini, (2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a caracterização do sistema atual de destinação final de resíduos sólidos urbanos no município estudado, foram selecionados métodos de análise para serem aplicados, os quais encontram-se descritos no Manual de Gerenciamento Integrado (IPT; CEMPRE, 2000) e no Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (MONTEIRO et al., 2001), tais como: estimativa da quantidade atual e futura de resíduos sólidos gerados “per capita” (kg/hab/dia); projeção futura de crescimento da população; coleta de amostras para análise da composição física mediante triagem dos componentes (quarteamento de amostra – in loco); coleta de amostra para análise (em laboratório) do teor de umidade e do material seco; e, estimativa em porcentagens dos materiais presentes na amostra.

Os dados levantados por Cândido (2004) referente às seis unidades geológico-geotécnicas no município de Estiva Gerbi foram utilizados como base de estudos para a elaboração de uma tabela de análise.

Os critérios geoambientais de adequabilidade de locais à implantação de aterros sanitários, foram selecionados e definidos os de maior aplicabilidade aos municípios de pequeno porte. Para este procedimento foram utilizadas as seguintes publicações técnicas: Manual de Gerenciamento Integrado (IPT; CEMPRE, 2000); Apostila Ambiental da CETESB (2005); e, Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte (CASTILHOS JR, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de resíduos produzidos em Estiva Gerbi, cerca de 5 t/dia, e sua previsão para os próximos 20 anos, cerca de 6,5 t/dia, indica a adoção de soluções economicamente viáveis, como as técnicas simplificadas de disposição final em aterro sanitário para municípios de pequeno porte (até 10 t/dia) denominado de “aterro sustentável” do Programa de Pesquisas em Saneamento Ambiental - PROSAB (CASTILHOS JR, 2003); e, “aterro sanitário em valas” (CETESB, 2005). Para tanto será necessário selecionar uma área de aproximadamente 30.000 m² para implantação de um aterro sanitário, para dispor a quantidade de resíduos sólidos previstas para os próximos 20 anos.

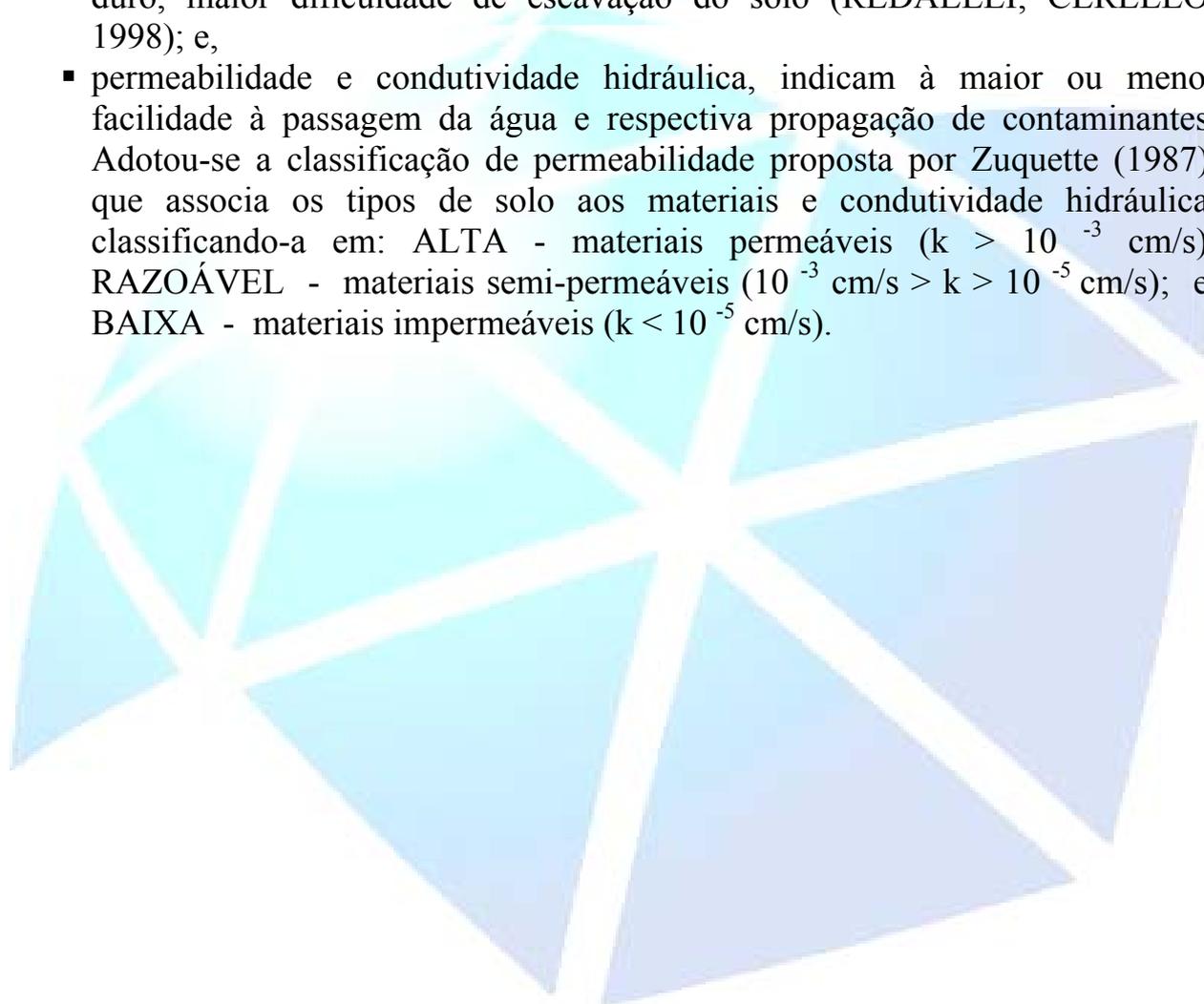
4.1. Avaliação das Unidades Geológico-geotécnicas

A caracterização das unidades geológico-geotécnicas elaborada por Cândido (2004), constitui-se a base de estudos que possibilitou relacionar as características do meio físico no município de Estiva Gerbi (Figura 3). Como produto obteve-se a Tabela 1 que permite uma orientação preliminar quanto ao tipo de intervenção pretendida, identificando zonas homogêneas mais aptas. Salienta-se que esta indicação caracteriza-se como orientação ao planejamento ambiental, sendo uma

etapa anterior à individualização de locais-alvo à instalação do empreendimento, as quais requerem investigações diretas (in situ).

Entre as principais propriedades do meio físico consideradas, destacam-se:

- a profundidade e a variação do nível d'água (N.A.) em relação a base de fundo do aterro, quanto maior à distância, menor risco de ocorrência de contaminações;
- espessura de solo (material inconsolidado), quanto mais espesso, maior é o tempo para os poluentes chegarem às águas subterrâneas (YAMADA, 2004);
- escavabilidade, em função da classificação do tipo de material, quanto mais duro, maior dificuldade de escavação do solo (REDAELLI; CERELLO, 1998); e,
- permeabilidade e condutividade hidráulica, indicam à maior ou menor facilidade à passagem da água e respectiva propagação de contaminantes. Adotou-se a classificação de permeabilidade proposta por Zuquette (1987), que associa os tipos de solo aos materiais e condutividade hidráulica, classificando-a em: ALTA - materiais permeáveis ($k > 10^{-3}$ cm/s); RAZOÁVEL - materiais semi-permeáveis (10^{-3} cm/s $> k > 10^{-5}$ cm/s); e, BAIXA - materiais impermeáveis ($k < 10^{-5}$ cm/s).



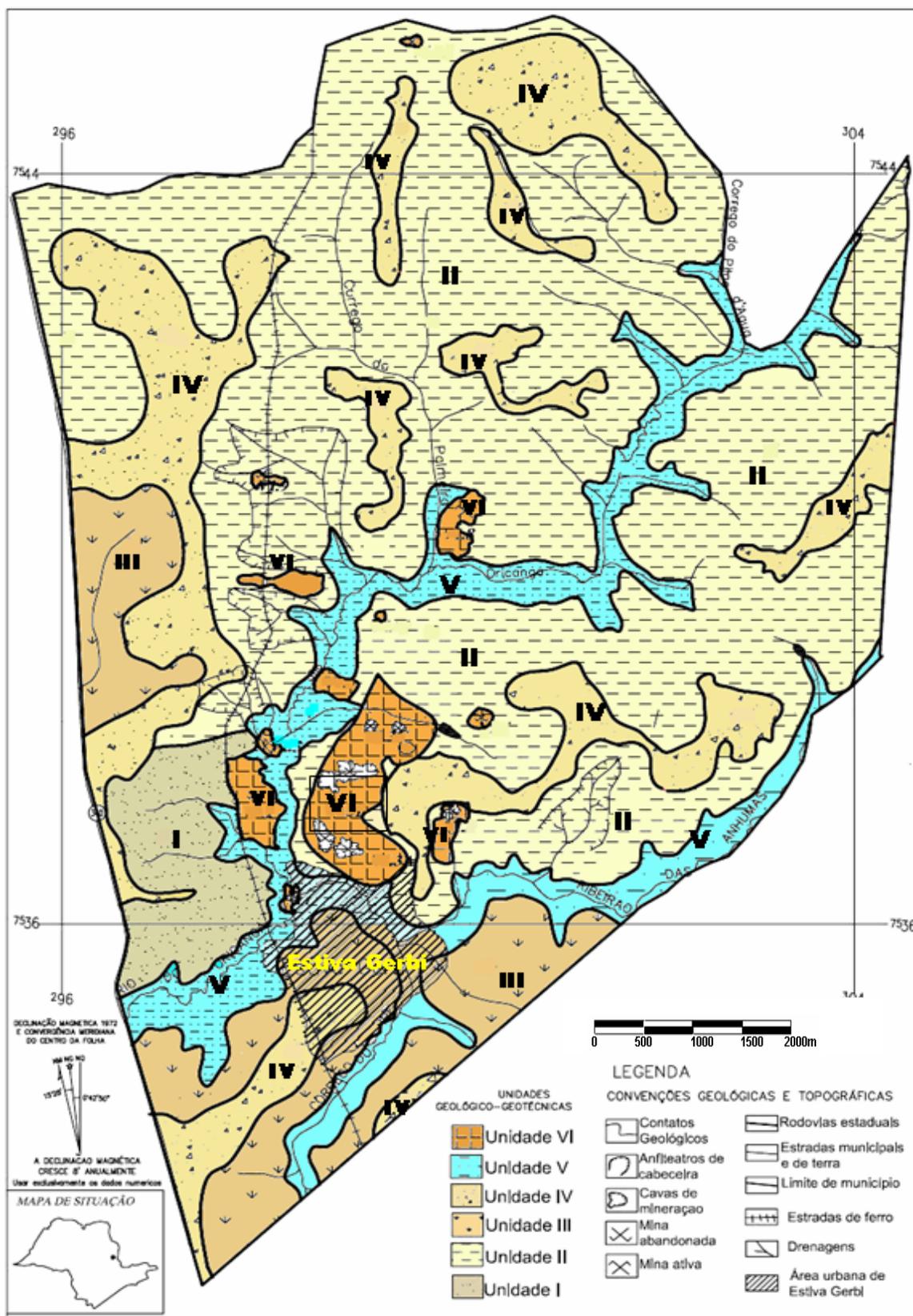


Figura 3. Mapa geológico geotécnico do município de Estiva Gerbi (SP).

Fonte: Candido; Zaine, (2005), modificado por Lealdini, (2006)

Recebido em: 09/03/2007	HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 39
Liberado para Publicação em: 28/02/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

A Tabela 1 mostra a caracterização das unidades segundo critérios geológicos geotécnicos de análise definidos por Cândido (2004) aplicados à implantação de aterro sanitário. O procedimento adotado, permitiu associar as restrições e potencialidades destas unidades, conforme mostra o Quadro 1. A análise das características permitiu selecionar as Unidades que requerem estudos e diagnósticos mais detalhados para a implantação do empreendimento proposto.

Existem diversas técnicas de engenharia que podem ser aplicadas às restrições descritas no Quadro 1, para a implantação de um aterro sanitário em área territorial do município. A escolha das técnicas a serem aplicadas depende da avaliação do custo-benefício (incluindo-se o ambiental) para a viabilização do empreendimento na referida unidade de análise que contenha restrições.

4.2. Critérios Geoambientais Aplicados à Implantação de Aterro Sanitário

Os municípios de pequeno porte apresentam características diferenciadas em relação aos grandes centros urbanos quanto ao uso e ocupação do solo, e carecem de capacitação técnica e de instrumentos de orientação técnica para o planejamento ambiental. Em função dessas dificuldades, foram estudados e adaptados critérios selecionados em literatura específica aplicados ao Município de Estiva Gerbi.

Os critérios geoambientais selecionados foram agrupados a partir das condicionantes de uso e ocupação do solo, distâncias necessárias e interferências, dimensionamento e vida útil do aterro sanitário. Também foram estudados os aspectos geológicos e geotécnicos voltados à adequada implantação do sistema de aterramento. A aplicação da Tabela 2 estabeleceu o enquadramento dos critérios em três categorias: adequada, com restrições e não adequada.

Podem ser três ou mais o número de áreas pré-selecionadas, porém devem ser selecionadas as que atendam ao maior número de critérios favoráveis. Após esta pré-seleção, cada uma das áreas deve ser analisada por meio de procedimentos técnicos (investigações diretas, sondagens no solo). Quando os atributos naturais não forem suficientes para atender integralmente ao critério, soluções de engenharia devem ser utilizadas (conforme Tabela 2, coluna “com restrições”), porém somente após os resultados das investigações diretas “in situ”.

A caracterização das unidades de análise a partir dos dados geológicos geotécnicos no Município de Estiva Gerbi (Tabela 1) e a análise das restrições e potencialidades das unidades geológicas geotécnicas (Quadro 1) indicam que a Unidade II - Formação Aquidauana (*Carbonífero – Permiano*) é a que atende a maioria dos critérios definidos à implantação de um aterro sanitário.

A Tabela 2, referente aos critérios geoambientais para subsídio as análises para a seleção de áreas à implantação de um aterro sanitário, é uma ferramenta que facilita a pré-seleção de áreas. A partir da análise seqüencial do Quadro 1 (restrições e potencialidades) com a Tabela 2 (critérios geoambientais) pode-se obter a pré-seleção de duas, três ou mais áreas aptas à implantação do sistema de disposição final para o município de Estiva Gerbi.

Tabela 1 – Caracterização geológica geotécnica das Unidades Geológicas no Município de Estiva Gerbi (SP).

UNIDADE	UNIDADE VI					
	UNIDADE I	UNIDADE II	UNIDADE III	UNIDADE IV	UNIDADE V	Áreas modificadas pela mineração UNIDADE II modif. UNIDADE V - modif.
características	Formação Aquidauana Carbonífero - Permiano	Formação Aquidauana Carbonífero - Permiano	Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Terciário - Quaternário	Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Terciário - Quaternário	Depósitos Aluvionares Cenozóicos Quaternário	Formação Aquidauana Carbonífero - Permiano
Materiais	solo areno-argiloso e arenitos	solo coluvionar argiloso e argilitos	solo coluvionar argilo-arenoso	solo residual argilo-arenoso	solo aluvionar argilas e areias inconsolidadas	argilas e argilitos
Relévo (GEOMORFOLOGIA)	média vertente com vales abertos	média e baixa vertente; anfiteatros de cabeceira (feições)	vertente de média encosta	de colinas amplas e suaves	planície de aluvionares: áreas planas e em vales abertos	topografia diferenciada: bota-foras e cavas abandonadas de antigas minerações de areia e argila de várzea
Declividade	5 - 15%	5 - 15%	5 - 15%	< 5%	< 5%	modificada > 15%
Densidade de Drenagem	baixa	média	baixa	baixa	baixa	alta
Espessura do solo/ cobertura material inconsolidado	< 5 metros	1 - 5 metros	3 - 8 metros	5 - 10 metros	< 5 metros	solo exposto
Profundidade do Nível d'água subterrâneo	variável 5 - 25 metros	5 - 8 metros	4 - 15 metros	10 - 15 metros	< 5 metros	variável - aflorante cavas secas e submersas
Problemas de natureza GEOLÓGICA GEOTÉCNICA	processos erosivos	processos erosivos (sulcos)	processos erosivos (sulcos e ravinas)	processos erosivos (sulcos) impermeabilização do solo ocupação	assoreamento e processos erosivos enchenes poluição - esgoto	processos erosivos bota-foras - cavas erosão acelerada cavas submersas e secas
Escavabilidade *	Material Brando Rocha Branda	Material Brando Rocha Branda	Material Brando	Material Brando	Friável e Fluente	Material Brando Rocha Branda
Permeabilidade**	RAZOÁVEL à ALTA Mat. semi-permeáveis à mat. permeáveis	BAIXA Mat. impermeáveis	RAZOÁVEL Mat. semi-permeáveis	RAZOÁVEL Mat. semi-permeáveis	ALTA e BAIXA Mat. Permeáveis e Mat. Impermeáveis	ALTA e BAIXA Mat. Permeáveis e Mat. Impermeáveis
Área (km2)	2,857 km ²	42,072 km ²	4,219 km ²	13,307 km ²	9,142 km ²	2,403 km ²

* REDAELLI, L.L.; CERELLO, L. (1998). Classificação de materiais quanto à escavabilidade. ** ZUQUETTE, L.V. (1987). Classificação da permeabilidade para o mapeamento geotécnico.

UNIDADES DE ANÁLISE		RESTRICÇÕES	POTENCIALIDADES
Unidade I Formação Aquidauana Carbonífero - Permiano		<ul style="list-style-type: none"> ▪ ESPESSURA - solo < 5 m ▪ PERMEABILIDADE média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NA - variável (5-25 m) + profundo ▪ DECLIVIDADE: 5 – 15% ▪ DRENAGEM - baixa ▪ ESCAVIBILIDADE 2-3: fácil material brando / rochas brandas
Unidade II Formação Aquidauana Carbonífero - Permiano		<ul style="list-style-type: none"> ▪ ESPESSURA - solo 1 – 5 m 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NA : 5 – 8 metros ▪ DECLIVIDADE: 5 – 15 % ▪ DRENAGEM – média ▪ PERMEABILIDADE - baixa ▪ ESCAVIBILIDADE: - favorável material brando / rochas brandas ▪ SOLO – argiloso e argilitos
Unidade III Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Terciário - Quaternário		<ul style="list-style-type: none"> ▪ ESPESSURA - solo 3 – 8 m ▪ PERMEABILIDADE - média 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NA: 4 – 15 metros. ▪ DECLIVIDADE: 5- 15 % ▪ DRENAGEM - baixa ▪ ESCAVIBILIDADE 2: favorável material brando
Unidade IV Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Terciário – Quaternário		<ul style="list-style-type: none"> ▪ PERMEABILIDADE - média ▪ DECLIVIDADE < 5% 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NA – profundo 10-15 m. ▪ ESCAVABILIDADE 2: favorável material brando
Unidade V Depósitos Aluvionares CENOZÓICOS Quaternário		<ul style="list-style-type: none"> ▪ RELEVO – área muito baixas sujeitas à inundações ▪ NA – elevados, próximos aos cursos d'água. ▪ PERMEABILIDADE - alta ▪ ESCAVABILIDADE 1: material friável e fluente 	————
Unidade VI Áreas modificadas pela mineração <i>brownfields</i>	VI a Unidade II modificada Formação Aquidauana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NA – variável – aflorante cavas secas e submersas ▪ SOLO EXPOSTO ▪ DECLIVIDADE – modificada ▪ RELEVO: Topografia diferenciada bota foras / cavas abandonadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PERMEABILIDADE – baixa ▪ ESCAVABILIDADE 2-3 material brando / rocha branda
	VI b Unidade V Modificada Depósitos Aluvionares CENOZÓICOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NA – aflorante cavas submersas ▪ SOLO EXPOSTO ▪ PERMEABILIDADE – alta ▪ DECLIVIDADE – modificada ▪ Mineração – ALUVIÕES ▪ BACIA DE INUNDAÇÃO Rio Orizanga – mudanças no perfil hídrico ▪ ESCAVABILIDADE 1: material friável e fluente 	————

Quadro 1 - Síntese das principais restrições e potencialidades das Unidades Geológicas de Análise (critérios geológicos geotécnicos) à implantação de aterro sanitário.

Fonte: Lealdini, 2006.

Tabela 2 - Critérios geoambientais selecionados à implantação de aterro sanitário em municípios de pequeno porte.

CRITÉRIOS GEOAMBIENTAIS	Observações	Dados necessários	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
			Adequada	Não adequada	
USO DO SOLO	Atender as legislações federais, estaduais e municipais - e no caso de dúvida aplicar a mais restritiva - fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental. Áreas sem restrições no ZA	Zoneamento Ambiental Lei de uso e ocupação do solo Legislações específicas	uso do solo industrial ou rural e áreas sem restrições no ZA	restrições no ZA	inviável
	Potencial mínimo de incorporação à sede, distritos ou povoados Propriedade municipal ou passível de cessão não onerosa (comodato) ou desapropriável (recursos municipais) Aceitação população/ONGs	Plano Diretor Municipal	Vector crescimento mínimo	Vector de crescimento intermediário	Vector de crescimento principal ocupação no entorno
DISTÂNCIAS	Respeitar as distâncias mínimas (normas técnicas ou legislação específica)	Uso e ocupação de terras	áreas devolutas ou pouco utilizadas		
	Condições de tráfego em todas as épocas do ano, sem rampas íngremes e curvas acentuadas	Avaliação imobiliária de áreas	BAIXO	MÉDIO	ALTO
DIMENSÕES VIDA ÚTIL	Inferência de tráfego, poeira, aspecto visual e odores. Observar direção predominante dos ventos.	Esclarecimentos à comunidade	BOA	RAZOÁVEL	OPOSIÇÃO
	Menor distância possível - Inferir no custo do transporte e manutenção dos veículos	Corpos D'água (nascentes, rios, lagos) Vales do sistema de drenagem (festadual ou municipal)	> 200 m ≥ 50 m	< 200 m - à critério do órgão ambiental 30 m ≥ 50 m	Não atender PARAMETROS < 30 m
GEOLOGIA GEOTECNIA	Determinar a vida útil mínima do empreendimento. Base de Cálculo: 1m ³ /t/dia de resíduo aterrado (1)	Vias de acesso	BOA	RAZOÁVEL	RUIM
	SOLO: Composição predominante homogênea e argilosa. Evitar áreas com matacões e rochas aflorantes (1)	De Núcleos Habitacionais Direção dos ventos	500 m de habit. isoladas 2.000 m de áreas urbanizadas		
GEOLOGIA GEOTECNIA	ESPESSURA: disponibilidade de material de cobertura e base das trincheiras (2)	Ao Centro geométrico de coleta	2.000 m - 10.000m	< 2.000 m - à critério do órgão ambiental 10.000m - 20.000m	< 2000 m e > 20.000 m
	ESCAVABILIDADE: de acordo com as características dos materiais - solo (2)	Cálculo da vida útil	10 ≥ 15 anos	5 ≤ 10 anos ou à critério do órgão ambiental	< 5 anos
GEOLOGIA GEOTECNIA	RELEVO: características planas, com inclinação máxima em torno de 10%. Evitar áreas em topos de morros (1)	Tipo de solo	argiloso e argilitos	areno-argiloso	areias aluvionares solo arenoso e arenitos
	LENÇOL FREÁTICO: são poucos os municípios que possuem cotas do lençol freático. Posteriormente há necessidade de sondagens no solo.	Espessura do solo: cobertura material inconsolidado Escavabilidade: características do material (3)	> 2 m	1 - 2 m	< 1 m
GEOLOGIA GEOTECNIA	POTENCIALIDADE DE INFILTRAÇÃO DE LÍQUIDOS NO SOLO.	Decilidade (%) (1)	3% ≤ decilidade ≤ 10%	10% < decilidade ≤ 20%	Decilidade < 3% ou decilidade > 20%
	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA: verifica a potencialidade de infiltração de líquidos no solo.	Profundidade do nível d'água (1)	3 m - solos argilosos > 3 m - solos arenosos	1,5 m	< 1,5 m
		PERMEABILIDADE Condutividade hidráulica (4)	BAIXA K > 10 ⁻⁵ cm/s	RAZOÁVEL 10 ⁻³ > K > 10 ⁻⁵ cm/s	ALTA K > 10 ⁻³ cm / s

(1) Para aterro sanitário em vales (CETESB, 2005b). (2) Para aterro sanitário (sustentável) em municípios de pequeno porte (MARTINS; GOMES, 2004).
 (3) Classificação de materiais quanto a escavabilidade (REDAELLI; CERELLO, 1998). (4) Classificação da permeabilidade para mapeamento geotécnico (ZUQUETTE, 1987).

5. CONCLUSÕES

A caracterização a partir das Unidades Geológico-Geotécnicas na área territorial do município é uma etapa fundamental para orientar e subsidiar a pré-seleção de áreas à implantação de aterros sanitários. Conclui-se que essa caracterização é indispensável como instrumento de planejamento para orientar o zoneamento ambiental, o uso e ocupação do solo, entre outros. Coloca-se ainda, que para adequar e resolver as restrições apresentadas para o meio físico pode-se avaliar a aplicação de técnicas de engenharia, porém a Unidade Geológica-Geotécnica II (*Carbonífero-Permiano*) é a que atende a maioria dos critérios definidos para a seleção de áreas a implantação de um aterro sanitário, devendo ser objeto de estudos mais específicos.

Os critérios geoambientais selecionados a escolha de áreas para a implantação de aterro sanitário (Tabela 2) podem também orientar outros municípios de pequeno porte com problema semelhante.

6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Folha topográfica Aguaí SF – 23 – Y – A – III – 1; Folha topográfica Mogi Guaçu SF-23-Y-A-III-3. escala 1: 50.000, 1972.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/universo.php?tipo=31&paginaatual=1&letra=C>>. Acesso em: 02 fev.2006.

CÂNDIDO, L.W. **Identificação e mapeamento de cavas e pilhas de bota-fora de mineração como unidade geológico-geotécnica no município de Estiva Gerbi, SP**. 2004. 67p. Dissertação. (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

CÂNDIDO, L.W.; ZAINE, J.E. **Identificação e mapeamento de cavas e pilhas de bota-fora de mineração como unidade geológico-geotécnica no Município de Estiva Gerbi – SP, Brasil**. Revista Geociências, Universidade de Guarulhos, v. X nº 6, p. 35-44, 2005.

CASTILHOS JR. (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. Disponível em:<<http://www.rimaeditora.com.br>>. Acesso em: 09 abr.2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (SP). Procedimento para implantação de aterro sanitário em valas. **Aterro em valas**.

Recebido em: 09/03/2007	HOLOS Environment, v.8 n.1, 2008 - P. 44
Liberado para Publicação em: 28/02/2008	ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 23 mar. 2006. Apostilas Ambientais.

ESTIVA GERBI. Departamento de Obras e Serviços Municipais. **Perfil Municipal**. Estiva Gerbi: Prefeitura Municipal de Estiva Gerbi, 2004. Relatório 2004.

GOMES, P.C.B. (Coord.). Plano da bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. São Carlos: Suprema, 2003. 300p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo** – escala 1: 1.000.000. São Paulo. 2 v. (IPT. Séries monografias), 1981.

_____. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

LEALDINI, M.L.C. **Diretrizes para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em Estiva Gerbi (SP)**. 2006. 147p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

MONTEIRO, J.H.P.; FIGUEIREDO, C.H.M.; MAGALHÃES, A.F.; MELO, M.A.F.; BRITO, J.C.X.; A. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República; Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Gestão integrada de resíduos sólidos**: manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/>>. Acesso em: 12 jul. 2004.

REDAELLI, L.L.; CERELLO, L.C. Escavações. In: OLIVEIRA, A.M.S; BRITO, S.N.A. (Ed.). **Geologia da Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

YAMADA, T.D. **Caracterização geológica-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. 1987. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.