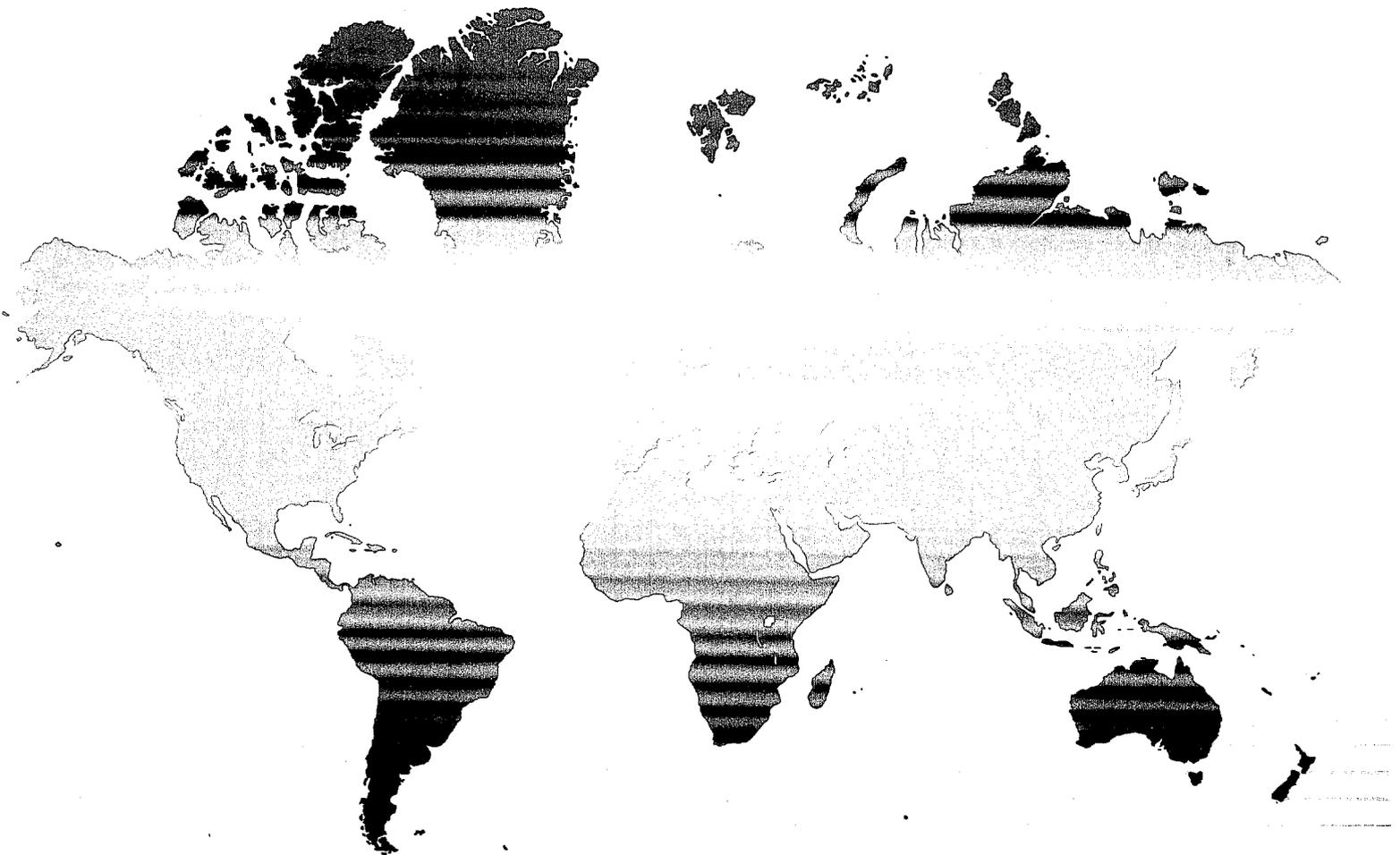


Série Foco nos Negócios

# Caracterização dos aterros de lixo no Brasil para aproveitamento de gás

## Sumário Executivo



Fevereiro de 1997

*Elaborado pela:*  
Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional  
Seção de Energia, Ambiente e Tecnologia  
Centro para o Ambiente  
Bureau de Programas Globais, Apoio de Campo e Pesquisa

PN-ACA-070

**Série Foco nos Negócios**

# **Caracterização dos aterros de lixo no Brasil para aproveitamento de gás**

## **Sumário Executivo**

**Fevereiro de 1997**

*Elaborado pela:*  
**Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional**  
**Seção de Energia, Ambiente e Tecnologia**  
**Centro para o Ambiente**  
**Bureau de Programas Globais, Apoio de Campo e Pesquisa**

A

Os pontos de vista aqui expressos são os da empreiteira e não refletem necessariamente os da  
Seção de Energia, Ambiente e Tecnologia da Agência dos Estados Unidos para o  
Desenvolvimento Internacional.

- B -

## PREFÁCIO

Esta edição da *Série Foco nos Negócios* contém um relatório sobre a *Caracterização dos Aterros de Lixo no Brasil para o Aproveitamento de Gás*. Foi elaborada pelo Projeto de Inovação em Tecnologia de Energia (PITE), mediante contrato com a Seção de Energia, Ambiente e Tecnologia (USAID/G/ENV/EET) do Centro para o Ambiente, Bureau de Programas Globais, Apoio de Campo e Pesquisa da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional.

Os autores agradecem com gratidão a orientação contínua, a revisão e o apoio proporcionados pelo Sr. Jefferson Seabright, Dr. Samuel Schweitzer e pela Senhorita Christine Wegman, USAID/G/EET; Sr. Edward Kadunc, Jr. e Sr. Augusto Jucá, da Missão da USAID na Embaixada Americana em Brasília; Sr. Gilbert Donahue, Consul Geral Adjunto em São Paulo, Senhora Sharon Villarosa, Primeira Secretária, Assuntos Econômicos e à Senhorita Cenia Wilkinson, Conselheira de Ciência, Tecnologia e Ambiente na Embaixada Americana em Brasília e à Senhorita Julia Guerrero, Adida Comercial Principal e ao Sr. Ricardo Rose, Especialista em Desenvolvimento de Negócios do Centro Comercial dos Estados Unidos, em São Paulo.

Além disso, vários funcionários brasileiros proporcionaram contribuição significativa para vários aspectos do estudo, bem como nos preparativos para as visitas aos aterros em todo o país. A lista completa de todos os funcionários públicos e privados brasileiros contatados durante a missão figura no Anexo I deste relatório. Contudo, gostaríamos de reconhecer especialmente as informações e a orientação proporcionadas por Haroldo Mattos de Lemos, Secretário da Coordenação dos Assuntos do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal; Demóstenes Barbosa da Silva, Vice-Diretor, Ministério das Minas e Energia, DNAEE; Roberto Moreira Coimbra, Assessor do Coordenador Geral do Ministério das Minas e Energia, DNAE; Eduardo Alberto Larrosa Bequii, Coordenador Geral de Concessões, Ministério das Minas e Energia, DNAEE; Henrique Santos, Assessor da Coordenação Geral de Concessões, Ministério das Minas e Energia, DNAEE; Nida Chalegre Coimbra, Administradora Ambiental, Ministério das Minas e Energia, Secretaria Executiva; e Casper Erich Stemmer, Secretário da Coordenação de Programas, Ministério da Ciência e Tecnologia.

A *Série Foco nos Negócios* inclui relatórios sobre mercados promissores na área do ambiente e da energia nos países em desenvolvimento. Os relatórios variam em extensão e teor e podem cobrir regiões, uma nação ou um setor específico. A fim de obter mais informações sobre os relatórios da *Série Foco nos Negócios*, entre em contato com a Seção de Energia, Ambiente e Tecnologia do Bureau Global da USAID, pelo telefone (703) 875-4203.

## SUMÁRIO EXECUTIVO

A rápida industrialização do Brasil resultou num aumento alarmante da população urbana do país. Grandes centros, tais como São Paulo, têm uma população diurna que é quase 25 por cento maior do que a população fixa da cidade, o que se deve em grande parte aos trabalhadores migrantes que se aproveitam das maiores oportunidades de emprego lá existentes. Nas últimas três décadas tem havido também uma contínua migração de trabalhadores das áreas rurais para as principais cidades. Atualmente, mais de 75% da população do Brasil concentra-se nas principais áreas urbanas. Esse influxo da população das áreas rurais para as áreas urbanas impôs demandas consideráveis sobre a infra-estrutura, o abastecimento de energia e os serviços municipais das cidades. Com as oportunidades crescentes de emprego, padrões de vida mais altos e maior renda disponível, a população urbana do Brasil está exibindo características típicas das outras grandes áreas metropolitanas do mundo, que incluem maior consumo de água e energia, maior uso das instalações de transporte e comunicação e a geração de detritos municipais sólidos. Além disso, a localização de grandes instalações industriais dentro e nos arredores das grandes cidades está gerando quantidades substanciais de detritos industriais. Conseqüentemente, entre as suas muitas responsabilidades, os governos federal, estaduais e municipais enfrentam um grande desafio na coleta, reciclagem e despejo tanto do lixo municipal quanto industrial.

Há várias experiências de reciclagem em andamento nas cidades. Além disso, muitos governos municipais estão executando projetos de tratamento de esgotos e de águas servidas bem como iniciativas de saneamento e limpeza. Muitas residências urbanas contam com serviços de coleta de lixo e enormes aterros de céu aberto ainda são o destino final da maior parte do lixo coletado, inclusive das substâncias perigosas. Algumas das cidades também estão experimentando a transformação do lixo municipal em adubo e a incineração de detritos perigosos, tóxicos e hospitalares.

O Brasil tem 4 974 municípios. Desse total, 3 611 -- 72,6 por cento -- têm menos de 20 000 habitantes e uma população total de aproximadamente 23 milhões. Os vinte e um maiores municípios têm mais de 600 000 habitantes e uma população conjunta de 34 milhões. A produção média de detritos sólidos municipais é de aproximadamente meio quilo per capita, por dia. Contudo, nas grandes cidades como São Paulo, a média municipal de produção de lixo per capita por dia pode chegar a 0,85 kg.

Uma quantidade considerável de detritos sólidos gerados pelos 4 974 municípios é jogada ilegalmente em locais de despejo dispersos e não autorizados ou em leitos de água. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) calculou que aproximadamente 76 por cento do total do lixo gerado em todos os municípios do Brasil são jogados em áreas ilegais de despejo;

13 por cento do lixo é entregue em aterros controlados, 10 por cento são despejados em aterros sanitários, 0,9 por cento são usados para a produção de adubo e 0,1 por cento é queimado (principalmente lixo hospitalar).

Compete aos municípios a coleta e a disposição de todos os detritos sólidos. Eles são responsáveis pela seleção dos aterros, por providenciar a coleta de todo o lixo (por seus próprios meios ou por meio de uma empreiteira privada) e pela disposição do lixo de forma ambientalmente prudente. Além disso, os municípios devem assegurar que os locais dos aterros sejam projetados e geridos cumprindo plenamente as leis e regulamentos ambientais tanto federais quanto locais referentes à coleta, supervisão e disposição de todos os detritos, inclusive o lixo perigoso e tóxico, esgotos e o lixo industrial. Muitos dos municípios pequenos simplesmente não tem podido cuidar dos problemas ambientais causados pelo despejo do lixo.

Esta falta de administração efetiva do lixo sólido municipal é decorrente de uma série de fatores que inclui: (i) uma falta de política específica de administração de lixo no nível municipal, (ii) limitações orçamentárias enfrentadas por muitos municípios pequenos e médios, muitos dos quais não cobram taxas de coleta nem dispõem de outras fontes de receita para justificar o custo da administração dos detritos sólidos, (iii) uma falta de engenheiros e técnicos ambientais e sanitários habilitados e treinados, especialmente nos pequenos municípios, (iv) uma falta de tecnologias apropriadas de supervisão, controle e tratamento, e (v) falta de quaisquer programas de controle, fiscalização e imposição de multas para o despejo ilegal. A composição química do lixo municipal nos 21 municípios maiores é muito semelhante. A análise do lixo coletado em São Paulo, a maior cidade do Brasil, que produz aproximadamente 9 000 toneladas de lixo municipal por dia, mostra que, a partir de 1993, 60 por cento têm um teor orgânico.

Nos últimos tempos o teor orgânico vem caindo e o teor de papel, vidro e metal aumentando no lixo municipal de São Paulo. Isso é um sinal da mudança nas economias urbanas, inclusive da introdução de produtos de papel e plástico, dos alimentos embalados e do uso de garrafas de vidro e de latas de bebidas. Os dados sobre composição do lixo na cidade de São Paulo são semelhantes aos de outras cidades grandes tais como o Rio, Belo Horizonte, Salvador, Curitiba, Porto Alegre, Florianópolis, Goiânia, etc.

Na maior parte das grandes cidades, o processo para a coleta e administração do lixo municipal sólido é organizado de uma das seguintes formas: (i) o aterro pertence à cidade e é por ela administrado, (ii) o aterro é propriedade da municipalidade mas administrado por uma entidade privada sob contrato, ou (iii) o aterro pertence ao setor privado, que o opera. Dessas alternativas, a mais comum é a segunda. Só há dois aterros pertencentes ao setor privado no Brasil.

Reconhecendo (i) a necessidade urgente de aliviar muitos efeitos do gás emitido pelos aterros de lixo (GEAL) sobre o ambiente, a saúde e a segurança, (ii) o potencial do uso do GEAL

como recurso comercializável , produzindo receitas para os municípios e os estados, (iii) a necessidade de técnicos, engenheiros e gerentes melhor habilitados para administrar os aterros de lixo e (v) a disponibilidade de tecnologia nos EUA para a extração e utilização do metano do GEAL, a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID) em Brasília solicitou a assistência do Projeto de Inovação da Tecnologia de Energia (PITE) a fim de constituir uma equipe de técnicos para visitar os maiores aterros de lixo no Brasil, avaliar as condições desses locais e o potencial para a extração e utilização do GEAL e fazer recomendações específicas técnicas e de política para o desenvolvimento de um programa abrangente de aproveitamento do GEAL no Brasil.

Em dezembro de 1996, o PITE organizou uma equipe de técnicos americanos e brasileiros a fim de selecionar e visitar os maiores aterros de lixo em todo o Brasil que oferecem a maior possibilidade de (i) benefícios ambientais e para a segurança e (ii) a extração e utilização de gás em escala comercial. A equipe visitou o Brasil nas duas primeiras semanas de dezembro e realizou avaliações dos treze maiores aterros de lixo no país. Além disso, os membros da equipe também visitaram funcionários dos governos municipais, estaduais e federal para discutir aspectos institucionais, financeiros e de política vinculados à administração mais eficaz dos aterros bem como da extração e venda do gás por eles emitidos.

Os objetivos do estudo foram os seguintes:

1. Identificar e caracterizar aterros de lixo representativos dos grandes centros populacionais e das áreas de grande crescimento secundário no Brasil.
2. Identificar o potencial comercial, os mercados potenciais e os benefícios econômicos da extração e utilização de GEAL.
3. Estabelecer opções para a participação privada neste setor, reduzindo desta forma o ônus sobre as cidades e municípios, aumentando a eficiência e gerando emprego.
4. Identificar as barreiras institucionais e políticas e fazer recomendações de mudanças institucionais e de política que possam facilitar a extração e utilização comercial de GEAL.

Com base nos dados sobre população, quantidade do lixo gerado e despejado nos aterros de lixo e em considerações geográficas, o PITE selecionou os 13 seguintes aterros nas 12 principais cidades brasileiras. Eles são aqui relacionados na ordem alfabética:

- Bandeirantes, São Paulo, São Paulo
- Belo Horizonte, Belo Horizonte, Minas Gerais
- Biguaçu, Florianópolis, Santa Catarina
- Caximba, Curitiba, Paraná

- Delta I, Campinas, São Paulo
- Goiânia, Goiânia, Goiás
- Gramacho, Duque de Caxias, Rio de Janeiro
- Joinville, Joinville, Santa Catarina
- Jóquei, Brasília, Distrito Federal
- Lara, Mauá, São Paulo
- Santa Bárbara, Campinas, São Paulo
- São João, São Paulo, São Paulo
- Zona Norte, Porto Alegre, Rio Grande do Sul

A população total de todos os estados visitados pela equipe é de aproximadamente 92 milhões de pessoas, ou 58% da população brasileira. O total da população das cidades cujos aterros foram selecionados é de aproximadamente 33,2 milhões de pessoas. O total do lixo sólido municipal produzido no país é calculado em 241,614 toneladas métricas por dia. O total do lixo sólido municipal produzido nas doze cidades onde ficam os aterros selecionados é calculado em 142 697 toneladas métricas por dia, o que representa aproximadamente 59% do total do lixo municipal do país.

Além dos locais dos aterros, a equipe do PITE também visitou Brasília e manteve discussões com altos funcionários encarregados dos setores de energia, ambiente e planejamento do governo federal. Essas discussões incluíram as políticas atuais e planejadas para a administração de lixo sólido municipal, o setor institucional e o financiamento dos projetos de administração, coleta e tratamento de lixo sólido. Nessas discussões, a equipe explorou o potencial para participação ativa do setor privado tanto na administração do lixo sólido municipal quanto na produção e utilização de GEAL como recurso energético, especialmente em vista da aprovação recente pelo governo da Lei de Concessões e da regulamentação dos produtores independentes de energia.

As questões chaves essenciais identificadas em todos os locais de aterros visitados pelas equipes, comuns às práticas de administração de lixo em todo o Brasil são as seguintes:

1. A maior parte dos locais de aterros são administrados por funcionários da cidade ou da municipalidade. Geralmente, a coleta e transporte do lixo sólido para os aterros bem como todas as operações nos aterros são administradas por funcionários municipais. No caso de alguns dos grandes aterros de administração do lixo tais como o Bandeirantes, em São Paulo, e o Gramacho, no Rio de Janeiro, empreiteiras brasileiras são responsáveis pela coleta e operação. O Aterro Lara, em Mauá, e Biguaçu, em Florianópolis, pertencem a empresas privadas brasileiras e são por elas geridos. Esses, contudo, são casos pouco comuns.
2. Embora a topografia dos locais tenha variado consideravelmente, o clima é geralmente semelhante, com pequenas diferenças na temperatura e no total das

precipitações pluviométricas. Os declives dos vários aterros são parecidos com os encontrados em outros países, tipicamente 2-3 horizontal e 1 vertical, usando-se argila compactada como cobertura final bem como isolante, como se faz geralmente na maior parte dos locais. Além disso, os aterros de tamanho médio, como é o caso de Lara e São João, estão localizados muito próximos de áreas de alta concentração populacional, o que representa riscos de saúde e segurança para essa população.

3. Em vários graus, todos os aterros estão empenhados em estabelecer camadas e formas de mitigação a intervalos freqüentes e a maior parte deles têm solo, terra e concreto disponível para as camadas intermediárias e a final.
4. Geralmente, todos os aterros têm sistemas precários para a coleta e tratamento de lixiviado. Uma considerável quantidade de lixiviado foi encontrada em todos os locais, o que representa perigos significativos para os que neles trabalham e para as populações próximas. Em alguns casos, como no do Aterro Bandeirantes, o lixiviado é coletado em lagos, bombeado para caminhões e transportado para uma usina de tratamento. Essa operação também está precisando de melhora considerável.
5. Só um local, o Bandeirantes, transforma uma quantidade considerável de lixo sólido municipal em adubo. Atualmente, está transformando 2 500 toneladas de lixo por dia e produzindo aproximadamente 600 toneladas diárias de adubo bruto, para aplicações comerciais. Este aterro está considerando ativamente dobrar sua produção de adubo no próximo ano.
6. Não se viu qualquer sinal de pré-separação organizada de lixo (materiais recicláveis tais como plástico, papel, vidro e metais) em qualquer dos locais. Há, contudo, consideráveis atividades de pré-separação semelhante às encontradas em muitos outros países. Estimativas preliminares indicam que em alguns locais, tais como os aterros Bandeirantes e Gramacho, poderiam ser extraídos materiais recicláveis com um valor diário superior a US\$5 000, se um sistema organizado de pré-separação fosse adotado.
7. Em quase nenhum dos locais visitados faz-se incineração de lixo hospitalar. Apenas um dos locais tinha um sistema de incineração de micro-ondas, tratando aproximadamente 8 toneladas de lixo hospitalar diário. Esse sistema estava sendo operado por uma empreiteira privada brasileira, com tecnologia americana.
8. O sistema para a coleta de GEAL varia de local para local e não é suficientemente abrangente. A queima de GEAL é comum em todos os locais

mas quase não há coleta e tratamento organizada de GEAL para uso comercial. Dado o clima no Brasil e a presença de mais de 60% de detritos orgânicos na maior parte dos locais, os aterros brasileiros de lixo produzem uma quantidade abundante de GEAL. Portanto, a extração e utilização de GEAL para aplicações comerciais proporciona às cidades e municípios uma oportunidade atraente não só de reduzir riscos ambientais, de saúde e de segurança mas também de compensar parcialmente os custos da operação dos aterros por meio da obtenção de renda das vendas comerciais de GEAL ou da energia gerada pelo GEAL.

Além do que descobriu nos locais dos aterros, a equipe também examinou a política atual, o contexto legislativo e as práticas institucionais relacionadas com a administração de detritos sólidos municipais no país e explorou o potencial para uma participação privada mais intensa nesse setor. A equipe verificou o seguinte:

1. Há um grande número de organismos federais, comitês, institutos semi-governamentais, secretarias estaduais, organismos e departamentos municipais participando de um ou mais aspectos da administração geral dos detritos sólidos municipais no país. Embora a política geral seja deixar a responsabilidade pela administração e coleta dos detritos sólidos com as cidades e municipalidades, há considerável superposição na formulação de política, regulamentação, emissão de licenças e alvarás, inspeção de aterros, supervisão e fiscalização de várias entidades. Além disso, parece haver falta de coordenação entre as várias entidades, especialmente na área de formulação de política, padronização e planejamento de projetos.
2. Nos últimos anos, os governos federal e estaduais promulgaram leis e baixaram grande número de normas e regulamentos referentes à coleta, transporte, tratamento, supervisão e disposição de lixo sólido municipal. Apesar disso, uma grande parte do lixo sólido municipal (quase 75%) continua a ser despejado em locais ilegais. Apesar das inúmeras políticas e regulamentos, o governo enfrenta dificuldades para controlar o despejo ilegal bem como para supervisionar e impor o cumprimento das penas legalmente permitidas.
3. Atualmente, os municípios precisam sustentar todo o custo da coleta, transporte, tratamento, disposição e operação dos aterros de lixo. A principal fonte de renda das prefeituras é a taxa de lixo, que varia entre US\$8 e US\$20 por tonelada, com base numa variedade de fatores (teor do lixo, tamanho do caminhão, volume de repetição, etc.). Outras fontes potenciais de receitas tais como a venda de materiais recicláveis, a transformação dos detritos orgânicos em adubo e a extração e utilização de GEAL como recurso energético não estão em sua maior parte aproveitadas. Ao mesmo tempo, os estados e municípios enfrentam o requisito de expansão dos aterros atualmente existentes, da abertura de novos aterros, do fechamento e reabilitação de locais plenamente aterrados e da

administração de detritos lixiviados, tóxicos e perigosos mediante uso de tecnologias que atendam novos padrões mais estritos, tudo o que continua a exercer cada vez maior pressão sobre os seus orçamentos já bastante comprimidos.

4. Com a aprovação da Lei de Concessões e o potencial de lucros da utilização do lixo e do GEAL para produtos comerciais (adubo, recicláveis e GEAL), várias empresas privadas brasileiras estão buscando ativamente junto aos estados e aos municípios oportunidades de contratos de administração de locais de aterros. Por exemplo, a SLU e a ENTERPA, as empreiteiras dos aterros de São João e do Jóquei, em Brasília, respectivamente, procuram com grande interesse oportunidades de novos contratos com prefeituras. Não obstante, persistem diversas barreiras financeiras e regulamentares que precisam ser racionalizadas antes que essas e outras empresas brasileiras demonstrem um interesse ativo no setor de administração de lixo.
5. Com exceção dos grandes aterros, há uma escassez de técnicos treinados, planejadores e administradores para as operações de administração de lixo e de aterros no país. Além disso, limitações orçamentárias têm impedido as cidades/prefeituras de instalar novas tecnologias mais eficazes (incineração, separação de fontes, processo anaeróbico para produção de adubo, etc.) para o tratamento de detritos e de lixiviados. No caso de muitos locais, havia sinais consideráveis de vazamento de GEAL e de sujeição das populações próximas a riscos de saúde. A fim de que o Brasil coloque em vigor as suas normas ambientais e assegure a saúde e a segurança da sua população, especialmente da que vive muito perto dos aterros, o governo precisa utilizar tecnologias mais avançadas e eficazes. Consequentemente, há necessidade considerável de transferência de tecnologia dos Estados Unidos para o Brasil nesse setor.
6. As iniciativas ousadas do governo brasileiro, especialmente a política de privatização, a lei de concessões, a regulamentação dos produtores independentes de energia, os novos padrões ambientais e o empenho histórico do país em usar tecnologias alternativas mais limpas proporcionam o contexto para a participação ativa do setor privado e da transferência de tecnologia a fim de considerar os crescentes problemas da administração dos detritos sólidos municipais. Embora o governo tenha exposto as suas políticas em detalhe suficiente, é necessário empenho considerável para simplificar o processo referente aos critérios de elegibilidade, aos processos de concorrência e financiamento, à emissão de alvarás, licenças e de contratos.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística calcula que um total de 241 614 toneladas de lixo sólido municipal é gerado cada dia nos 4 974 municípios brasileiros. Desse montante, 76 por cento, ou 183 627 toneladas de lixo são despejadas diariamente em locais ilegais e

desorganizados. Aproximadamente 10 por cento do lixo vão para aterros sanitários; 0,9 por cento são usados para produção de adubo, 0,1 por cento é incinerado e os 13 por cento restantes são colocados em aterros controlados. O total de lixo transportado e despejado nos 13 locais visitados pela equipe é calculado em 28 425 toneladas diárias. Desse montante, aproximadamente 11 por cento são usados para produção de adubos, incineração ou vão para aterros sanitários. As 25 298 toneladas diárias restantes são cobertas nos 13 aterros e atribuíveis à geração de GEAL. Dessa forma, o montante de detritos diretamente atribuíveis à geração de GEAL nos 13 aterros visitados pela equipe constituem aproximadamente 80,5 por cento do lixo total coletado e transportado para aterros controlados e operados legalmente.

Além disso, a composição do lixo é geralmente a mesma de aterro para aterro, especialmente no que diz respeito ao teor de lixo orgânico, que é calculado entre 50-90 por cento, com uma média em torno de 60 por cento, suficientemente alta para produzir quantidades significativas de GEAL. As 12 cidades onde os 13 aterros estão localizados têm uma população de aproximadamente 33 milhões. O total da população urbana das 46 principais cidades brasileiras no Brasil com mais de 300 000 habitantes atinge aproximadamente 42 milhões.

Dessa forma, a população das cidades-amostras selecionadas para este estudo representa aproximadamente 78,5 por cento do total da população urbana do país, que gera não só mais lixo per capita mas também a maioria do lixo no Brasil.

Conseqüentemente, os 13 locais-amostras selecionados para o estudo são bastante representativos das práticas de administração do lixo municipal no Brasil. Além disso, os locais são também representativos dos padrões de administração de lixo no país — totalmente pertencentes e geridos pela cidade/município; pertencentes à cidade e operados por uma empreiteira privada e totalmente pertencentes e operados pelo setor privado. Além disso, os locais selecionados estão em 8 dos 12 estados mais populosos do Brasil e refletem geograficamente os padrões de geração, da coleta, do transporte e da disposição do lixo no país.

Tendo em vista que a amostra dos 13 locais selecionados é representativa do país como um todo, pode-se concluir que as oportunidades de aperfeiçoamento técnico, institucional e de política para esses locais poderiam também ser aplicáveis a outros locais do Brasil. Especificamente, as tecnologias para a extração e separação do metano do GEAL, da coleta e tratamento de lixiviados, da produção de adubo, da incineração e de aproveitamento da energia baseada em GEAL aplicável aos 13 locais-amostras podem também ser aplicáveis a outros locais no Brasil.

O Modelo de Estimativa de Emissão de Ar de Aterros da Agência dos Estados Unidos de Proteção Ambiental (US EPA) (Modelo DOS, Versão 2.0) foi usado para calcular o potencial de geração de gás de cada um dos 13 aterros no Brasil. A tabela 1 apresenta as estimativas da

**TABELA 1**  
**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE METANO**

ATERRO	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE METANO 1996 (Milhões de Metros Cúbicos/Ano)		POTENCIAL DAS RESERVAS DE METANO 1997 - 2016 (Milhões de Metros Cúbicos)		OBSERVAÇÕES
	Geração Baixa (k=0.04/Ano)	Geração Alta (k=0.10/Ano)	Geração Baixa (k=0.04/Ano)	Geração Alta (k=0.10/Ano)	
Bandeirantes	67.7	131.7	2,009.3	3,000.8	Alto potencial de geração de metano (1) Coeficiente M:A favorável (2).
Belo Horizonte	28.5	51.8	662.5	896.0	Potencial médio de geração de metano.
Biguacu	1.4	3.4	110.2	196.9	Potencial atual baixo de geração de metano. Grande capacidade de despejo. Entrada de lixo aumentará. Coeficiente M:A favorável (2)
Caximbal	10.8	23.5	345.0	532.2	Potencial médio de geração de metano.
Delta I	5.0	11.3	98.2	141.9	Baixo potencial de geração de metano.
Goiânia	9.0	18.3	356.6	564.4	Potencial médio de geração de metano.
Gramacho	102.7	176.6	3,099.6	4,477.9	Alto potencial de geração de gás. Coeficiente M:A favorável.
Joinville	3.5	6.2	65.9	82.4	Baixo potencial de geração de metano. Aterro fechará em 3 anos.
Joquei	14.6	27.7	396.0	569.8	Potencial médio de geração de metano. Coeficiente M:A favorável.
Lara	15.2	30.2	568.2	925.8	Potencial médio de geração de metano.
Santa Barbara	4.4	7.0	59.1	57.2	Aterro está fechado. Baixo potencial de geração de metano.
São João	26.9	63.6	1,775.6	3,112.6	Alto potencial de geração de metano. Coeficiente M:A favorável.
Zona Norte	13.9	26.9	195.4	233.3	Potencial baixo de geração de metano. Coeficiente M:A desfavorável.
<b>TOTAL</b>	<b>303.7</b>	<b>578.1</b>	<b>9,741.5</b>	<b>14,791.3</b>	

NOTAS:

2. M:A = coeficiente massa-área. Representa o coeficiente da capacidade total do projeto de aterro, em toneladas métricas, em relação à área quadrada do aterro, em hectares. Geralmente, quanto maior o coeficiente, mais favorável o local para a instalação do sistema de aproveitamento do gás.

equipe sobre a geração de metano em 1996 e nos vinte anos seguintes, de 1997 a 2016. As estimativas de geração de metano são apresentadas para dois cenários — um cenário de geração alta e um de geração baixa.

As estimativas do cenário de geração baixa são baseadas numa taxa de decadência de geração de metano de 0,04 ao ano, típica nos aterros americanos em que a precipitação pluviométrica média ultrapassa 635 milímetros por ano. As estimativas do cenário de geração alta são baseadas numa taxa de decadência de geração de metano de 0,1 ao ano. Tendo em vista que as taxas de precipitação anual média nos locais visitados são superiores a 635 milímetros, a taxa mais alta de decadência foi usada para medir o potencial maior de geração de metano. As taxas de decadência de geração de metano de cada aterro, que podem ser medidas no campo, são recomendadas para as estimativas de geração de metano em que a instalação de sistemas de coleta de gás de aterro está sendo considerada. Para 1996, o total do potencial de geração de metano no cenário de geração baixa é calculado em 303 milhões de metros cúbicos. O cenário de geração alta, potencialmente mais aplicável aos aterros no Brasil tendo em vista as taxas mais altas de precipitação pluviométrica, proporcionaria uma estimativa de geração de metano de 578 milhões de metros cúbicos por ano.

No período de 20 anos (1997-2016), as estimativas para o total potencial de geração de metano nos cenários de geração baixa e alta são de 9,741 bilhões de metros cúbicos e 14,791 bilhões de metros cúbicos, respectivamente, que proporcionam um potencial de geração anual média nos dois cenários de 787 milhões de metros cúbicos e de 739,5 milhões de metros cúbicos, respectivamente. Esse aumento na media anual de geração de metano acima das estimativas de 1996 reflete as crescentes quantidades de detritos sólidos municipais que serão despejadas nesses locais, no futuro.

Dos 13 locais selecionados para o estudo, os Aterros Gramacho e Bandeirantes são os mais promissores em termos de geração de gás, com estimativas de 102,7 e 67,7 milhões de metros cúbicos, respectivamente. Oito dos 13 locais proporcionam estimativas com cenários de geração baixa de metano de 280,4 milhões de metros cúbicos, que constituem aproximadamente 92,3 por cento do total potencial de geração de metano em 1996. Essas percentagens são semelhantes nos próximos vinte anos.

As estimativas de potencial de geração de energia elétrica para cada local são resumidas na Tabela 2 para um período de 20 anos em quatro marcos — 1998, 2007, 2012 e 2017. O primeiro marco, 1998, representa o primeiro ano de operação de um sistema de geração de eletricidade baseada no gás, supondo que a construção de um sistema desse tipo ocorra em 1997. O marco de dez anos (2007) representa o período mínimo de retorno do investimento. Os marcos de 15 e 20 anos, em 2012 e 2017, completam o período de 20 anos para os quais foram feitas as estimativas de disponibilidade de GEAL e de geração de energia. O fator para a conversão de energia térmica em energia elétrica é suposto na faixa de 12 500 BTU por kilowatt-hora. Esse fator de conversão é geralmente usado pelo setor para fins de planejamento preliminar e é equivalente a uma eficiência de geração de 25 por cento, que é uma taxa

**TABELA 2**  
**ESTIMATIVAS DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

ATERRO	CENÁRIO DE BAIXA GERAÇÃO DE METANO				CENÁRIO DE ALTA GERAÇÃO DE METANO				
	MARCO	ANO	M3/ANO (1)	MW (2)	MARCO	ANO	M3/ANO (1)	MW (2)	
Bandeirantes	Instal. sistema	1998	8.09E+07	13.2	Instal. sistema	1998	1.52E+08	24.9	
	10-ano	2007	1.19E+08	19.5	10-ano	2007	1.85E+08	30.1	
	15-ano	2012	9.77E+07	15.9	15-ano	2012	1.12E+08	18.3	
	20-ano	2017	8.00E+07	13.0	20-ano	2017	6.79E+07	11.1	
Belo Horizonte	Instal. sistema	1998	3.34E+07	5.4	Instal. sistema	1998	5.96E+07	9.7	
	10-ano	2007	3.45E+07	5.6	10-ano	2007	4.33E+07	7.1	
	15-ano	2012	2.82E+07	4.6	15-ano	2012	2.63E+07	4.3	
	20-ano	2017	2.31E+07	3.8	20-ano	2017	1.59E+07	2.6	
Biguaçu	Instal. sistema	1998	2.40E+06	0.4	Instal. sistema	1998	5.35E+06	0.9	
	10-ano	2007	5.89E+06	1.0	10-ano	2007	1.07E+07	1.7	
	15-ano	2012	7.35E+06	1.2	15-ano	2012	1.21E+07	2.0	
	20-ano	2017	8.55E+06	1.4	20-ano	2017	1.30E+07	2.1	
Caximba	Instal. sistema	1998	1.44E+07	2.4	Instal. sistema	1998	3.00E+07	4.9	
	10-ano	2007	1.90E+07	3.1	10-ano	2007	2.79E+07	4.6	
	15-ano	2012	1.56E+07	2.5	15-ano	2012	1.69E+07	2.8	
	20-ano	2017	1.27E+07	2.1	20-ano	2017	1.03E+07	1.7	
Delta I	Instal. sistema	1998	6.80E+06	1.1	Instal. sistema	1998	1.44E+07	2.4	
	10-ano	2007	4.74E+06	0.8	10-ano	2007	5.87E+06	1.0	
	15-ano	2012	3.88E+06	0.6	15-ano	2012	3.56E+06	0.6	
	20-ano	2017	3.18E+06	0.5	20-ano	2017	2.16E+06	0.4	
Goiânia	Instal. sistema	1998	1.20E+07	2.0	Instal. sistema	1998	2.39E+07	3.9	
	10-ano	2007	2.28E+07	3.7	10-ano	2007	3.89E+07	6.3	
	15-ano	2012	1.87E+07	3.0	15-ano	2012	2.36E+07	3.8	
	20-ano	2017	1.53E+07	2.5	20-ano	2017	1.43E+07	2.3	
Gramacho	Instal. sistema	1998	1.22E+08	19.8	Instal. sistema	1998	2.10E+08	34.2	
	10-ano	2007	1.90E+08	31.0	10-ano	2007	2.98E+08	48.7	
	15-ano	2012	1.56E+08	25.4	15-ano	2012	1.81E+08	29.5	
	20-ano	2017	1.28E+08	20.8	20-ano	2017	1.10E+08	17.9	
Joinville	Instal. sistema	1998	4.12E+06	0.7	Instal. sistema	1998	7.31E+06	1.2	
	10-ano	2007	3.21E+06	0.5	10-ano	2007	3.50E+06	0.6	
	15-ano	2012	2.63E+06	0.4	15-ano	2012	2.12E+06	0.3	
	20-ano	2017	2.15E+06	0.4	20-ano	2017	1.29E+06	0.2	
Jóquei	Instal. sistema	1998	1.75E+07	2.8	Instal. sistema	1998	3.23E+07	5.3	
	10-ano	2007	2.20E+07	3.6	10-ano	2007	3.10E+07	5.1	
	15-ano	2012	1.80E+07	2.9	15-ano	2012	1.88E+07	3.1	
	20-ano	2017	1.47E+07	2.4	20-ano	2017	1.14E+07	1.9	
Lara	Instal. sistema	1998	1.83E+07	3.0	Instal. sistema	1998	3.52E+07	5.7	
	10-ano	2007	2.97E+07	4.8	10-ano	2007	4.84E+07	7.9	
	15-ano	2012	3.44E+07	5.6	15-ano	2012	5.20E+07	8.5	
	20-ano	2017	3.61E+07	5.9	20-ano	2017	4.87E+07	7.9	
Santa Bárbara	Instal. sistema	1998	4.04E+06	0.7	Instal. sistema	1998	5.70E+06	0.9	
	10-ano	2007	2.82E+06	0.5	10-ano	2007	2.32E+06	0.4	
	15-ano	2012	2.31E+06	0.4	15-ano	2012	1.41E+06	0.2	
	20-ano	2017	1.89E+06	0.3	20-ano	2017	8.53E+05	0.1	
Sao Joao	Instal. sistema	1998	4.26E+07	6.9	Instal. sistema	1998	9.51E+07	15.5	
	10-ano	2007	9.93E+07	16.2	10-ano	2007	1.79E+08	29.3	
	15-ano	2012	1.23E+08	20.1	15-ano	2012	2.02E+08	33.0	
	20-ano	2017	1.01E+08	16.4	20-ano	2017	1.23E+08	20.0	
Zona Norte	Instal. sistema	1998	1.34E+07	2.2	Instal. sistema	1998	2.32E+07	3.8	
	10-ano	2007	9.33E+06	1.5	10-ano	2007	9.45E+06	1.5	
	15-ano	2012	7.64E+06	1.2	15-ano	2012	6.24E+06	1.0	
	20-ano	2017	6.25E+06	1.0	20-ano	2017	3.47E+06	0.6	
<b>POTENCIAL CUMULATIVO DE GERAÇÃO DE ENERGIA</b>			<b>ANO</b>	<b>MW (2)</b>				<b>ANO</b>	<b>MW (2)</b>
			1998	60.6				1998	113.3
			2007	91.8				2007	144.2
			2012	84.1				2012	107.4
			2017	70.5				2017	68.8

NOTES:

1. Metros cúbicos gerados por ano, tal como calculados usando modelo da EPA dos EUA para estimativa das emissões de ar dos aterros.
2. Megawatts, supondo eficiência de 50% na coleta de gás de aterros e um fator de conversão de 12 500 BTU por kilowatt-hora.

PA

conservadora visto que as eficiências típicas de geração estão na faixa de 30 a 40 por cento para a geração tradicional de energia baseada na queima de gás.

O potencial cumulativo de geração de energia para os 13 aterros nas faixas dos cenários de geração baixa de metano vão de um nível baixo de 60,6 MW em 1998 para um nível alto de 91,8 MW em 2007. Depois de 2007, o potencial de geração de energia cai gradualmente para 70,5 MW em 2017, em virtude da redução da quantidade de metano disponível resultante do fechamento de alguns dos aterros visitados. Não obstante, outros aterros começarão a funcionar proporcionando GEAL adicional. Consequentemente, o potencial de geração de energia pode manter o nível indicado ou até mesmo aumentar além das estimativas atuais. O potencial cumulativo de geração de energia no cenário alto de geração de metano para os 13 aterros vão de uma estimativa baixa de 68,8 MW em 2017 a uma estimativa alta de 144,2 MW no ano 2007. Novamente neste caso, num cenário de alta geração de metano, o potencial de energia começa em 113,3 MW em 1998, atinge um pico de 144,2 em 2007 e cai para 68,8 em 2017, em virtude da disponibilidade reduzida de metano causada pelo fechamento dos aterros.

Dessa forma, o potencial geral de geração de energia em todos os 13 aterros juntos vai de um valor baixo de 60,6 MW em 1998 para um alto valor de 144,2 MW em 2007. Deve-se notar, contudo, que alguns dos aterros não são bons candidatos para a produção de energia baseada no gás. Consequentemente, o potencial cumulativo provável de geração de energia nesses locais será menor do que o calculado neste relatório. Avaliações detalhadas de cada local e estudos de viabilidade técnica e financeira serão necessários antes da elaboração dos projetos para financiamento potencial.

Com base nas avaliações preliminares nos 13 aterros, cinco são alinhados de acordo com seu potencial como candidatos para os sistemas de coleta de gás e o desenvolvimento de projetos de geração de energia baseados em GEAL, como mostrado na Tabela 3. Esses locais oferecem as melhores perspectivas para maior avaliação com vistas a projetos. A seleção e ordenamento desses locais foi baseada nos seguintes critérios:

1. Quantidade de reservas de metano, com base nas estimativas preliminares, no período de 1997 a 2016;
2. Uma amostra representativa da administração institucional dos locais de aterros no Brasil. Os padrões atuais de administração nos 13 locais visitados incluem: (i) totalmente pertencentes ao município e por ele operados; (ii) pertencentes ao município e operados por empresa privada e (iii) pertencentes ao setor privado e por ele operados;
3. A disponibilidade e acessibilidade de mercados potenciais para gás metano, energia térmica gerada por gás e energia elétrica gerada por gás na vizinhança dos locais dos aterros; e

**TABELA 3**  
**SUMÁRIO DA CLASSIFICAÇÃO DOS ATERROS**

ATERRO	ESTIMATIVA DAS RESERVAS DE METANO (Milhões de metros cúbicos)		ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DO PROJETO (Milhões ton. metr.)	ESTIMATIVA DA ÁREA DO ATERRO (Hectares)	COEFICIENTE MASSA/ÁREA	POTENCIAL DE USUÁRIOS FINAIS DE ENERGIA
	Geração baixa	Geração alta				
Gramacho	3,099.6	4,477.9	58.1	110	0.53	Construções comerciais e residenciais a oeste do aterro prometem possíveis usuários de gás metano e eletricidade. Usos potenciais no local abrangem geração de eletricidade e evaporação de lixiviados. Há linhas de transmissão de eletricidade próximas.
Bandeirantes	2,009.3	3,000.8	35.2	100	0.35	Grande comunidade residencial e lotes industriais próximos representam possíveis usuários finais de gás metano e de eletricidade. Linhas de transmissão de eletricidade a menos de 1 km do aterro e um gasoduto localizado de 1 a 2 km do local.
Lara	568.2	925.8	12.4	52	0.24	Construção em lote industrial próximo representa possíveis usuários finais de gás metano e de eletricidade. Há linhas de transmissão elétricas próximas do aterro.
São João	1,775.6	3,112.6	34.5	87	0.40	Embora não haja construção industrial próxima, construção residencial cerca o aterro, o que representa possíveis usuários finais de gás metano e de eletricidade. Há linhas de transmissão de eletricidade a menos de 1 km do aterro.
Belo Horizonte	662.5	896.0	11.8	80	0.15	Embora não haja construção industrial próxima, construção residencial cerca o aterro, o que representa possíveis usuários finais de gás metano e de eletricidade. Há linhas de transmissão de eletricidade a menos de 1 km do aterro.

10/11

4. O coeficiente de massa em relação à área do aterro. Geralmente, quanto maior for esse coeficiente, mais favoráveis serão as condições para o desenvolvimento de um sistema de gás extraído do aterro.

Com base nesses critérios de seleção e de ordenamento, os cinco aterros seguintes são considerados os melhores candidatos para o aproveitamento do gás e geração de energia e são relacionados em ordem decrescente:

1. Aterro do Gramacho, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
2. Aterro Bandeirantes, São Paulo, São Paulo
3. Aterro Lara, Mauá, São Paulo
4. Aterro São João, São Paulo, São Paulo
5. Aterro Belo Horizonte, Belo Horizonte, Minas Gerais

Como mencionado anteriormente, o total de detritos sólidos coletados e despejados nesses 13 locais constitui aproximadamente 80,5 por cento do total do lixo coletado e despejado nos locais de aterros controlados do país. Supondo os mesmos coeficientes de teor orgânico do lixo, da taxa de extração de metano e da taxa de geração de energia sejam aplicáveis aos demais aterros controlados, o potencial total de geração de energia baseada em GEAL no país será da ordem de 75,3 MW a 179,2 MW. A um custo instalado médio de aproximadamente de US\$1 200 por kilowatt de capacidade instalada, o total máximo de investimento provavelmente requerido apenas para as instalações de geração oscilará entre US\$90,4 e US\$215 milhões.

Deve-se notar que embora isto represente a geração máxima de energia e os requisitos prováveis de investimento, muitos projetos de geração de energia baseados em GEAL em cada um dos aterros pode não ser econômico por uma série de razões, inclusive seu tamanho reduzido, falta de um mercado local dedicado, erros nas estimativas de disponibilidade a longo-prazo de metano, etc. Embora a equipe TIPE tenha sido cautelosa na estimativa do potencial geral de geração de energia baseada em GEAL, cada projeto individual terá que ser avaliado com base em seus próprios méritos, por meio de estudos mais avançados de viabilidade técnica e financeira a fim de fazer uma avaliação mais realista do potencial de geração de energia baseada em GEAL.

Os cinco melhores projetos prospectivos selecionados como parte deste estudo representam um potencial geral de geração de energia baseada em GEAL na faixa de 43-50 MW. Esses projetos têm o melhor potencial de implementação. Não obstante, podem também enfrentar as mesmas barreiras políticas, institucionais, financeiras e econômicas comuns aos projetos em outros aterros. O total do investimento potencial requerido para esses melhores projetos oscila entre US\$51,6 milhões a US\$60 milhões, apenas para as instalações de geração de energia.

A administração eficaz dos aterros municipais de lixo sólido proporciona ao Brasil oportunidades significativas de benefícios ambientais, econômicos e de saúde. O metano é de 20 a 30 vezes mais potente do que o CO<sub>2</sub> e portanto tem efeitos mais adversos sobre a saúde.

Além disso, a queima irrestrita de GEAL, como feita no Brasil, aumenta a quantidade geral de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Dessa forma, a extração e utilização do metano do GEAL reduzirá os efeitos ambientais relacionados com o metano, reduzindo também o CO<sub>2</sub>. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias e de procedimentos de administração eficazes criará uma série de benefícios adicionais para o ambiente e a saúde. Eles incluem uma redução nos efeitos adversos à saúde decorrentes da decomposição de detritos tais como as emissões de gases danosos e o vazamento de lixiviados para os lençóis de água. Além disso, a extração e utilização de gás dos aterros contribuirá diretamente para uma redução dos níveis de CO<sub>2</sub>, reduzindo dessa forma os gases que produzem o efeito estufa. Consequentemente, há um impacto líquido positivo sobre a mudança global do clima. Deve-se notar que os benefícios à saúde são especialmente significativos para as grandes populações localizadas nas proximidades de muitos aterros em todo o país.

A administração integrada dos aterros tem o potencial de criar benefícios econômicos tanto diretos quanto indiretos para a economia brasileira. Os benefícios econômicos diretos incluem receitas da extração e utilização de um recurso. Especificamente, os benefícios econômicos diretos incluem a geração de receitas da (i) venda de adubo, (ii) do uso de detritos locais para incineração de lixo hospitalar e tóxico (atualmente terceirizada), e (iii) utilização de gás dos aterros para geração de calor e/ou eletricidade. Todos esses benefícios econômicos diretos não só realçarão a participação do setor privado mas também reduzirão o ônus fiscal sobre os governos estaduais e municipais, que de outra forma teriam que suportar todos os custos da administração dos aterros, debaixo de limites orçamentários estritos.

Os benefícios econômicos indiretos incluem a criação de empresas de transformação de lixo em adubo, de transformação de lixo em energia, de separação de recicláveis, concessões privadas para a operação de aterros, etc., tudo o que criará novos empregos no setor privado, maior atividade econômica nos aterros e em seus arredores, bem como uma distribuição de renda mais positiva.

Embora já existam muitas oportunidades ambientais e econômicas, também há inúmeras barreiras potenciais à consecução dos benefícios representados por essas oportunidades. As principais barreiras incluem: (i) a capacidade institucional existente, (ii) a falta de regulamentação eficaz, (iii) a falta de participação do setor privado, (iv) a percepção do setor privado no que diz respeito aos riscos vinculados aos investimentos em projetos de administração de lixo e (v) a disponibilidade de financiamento atraente. As políticas do governo no que diz respeito a concessões e à propriedade e operação privada de entidades tradicionalmente controladas pelo governo precisam ser bem entendidas pelo setor privado. O processo de intensificação da participação privada na administração de aterros precisa ser racionalizado e simplificado. Além disso, incentivos fiscais e financeiros criados especificamente para esse fim poderão ser necessários para que o setor privado participe da administração do lixo municipal, uma atividade em sua maior parte administrada pelos governos estaduais e municipais.

Finalmente, a participação do setor privado aumentará as perspectivas de utilização de tecnologias mais limpas para o tratamento de lixiviados, a extração de recursos, a transformação do lixo em adubo e de lixo em energia, tudo o que não só trará benefícios para o meio ambiente mas também benefícios econômicos significativos para o Brasil.