

ESCOLA POLITÉCNICA – USP

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA POLI-USP

Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética

GANHOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO USO DE BIOGÁS DE
ATERRO SANITÁRIO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

LUIZ FERNANDO GALLUCCI ALVES

2014

LUIZ FERNANDO GALLUCCI ALVES

Ganhos ambientais associados ao uso de biogás de aterro sanitário
na geração de energia elétrica

Monografia apresentada como forma de
avaliação final do curso de Especialização em
Energias Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Helena Lara
dos Santos Matai

SÃO PAULO
2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Monografia apresentada como forma de avaliação final do curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

DEDICATÓRIAS

*Aos meus pais e a toda a minha
família, que sempre serviram de apoio e exemplo no meu
desenvolvimento como ser humano.*

*À minha querida avó, Maria Magdalena Gallucci, que
se privou temporariamente das visitas deste neto.*

*À minha noiva, Natália, por toda a sua dedicação e
companheirismo.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo, pela oportunidade de participar deste enriquecedor curso de especialização.

A toda equipe de professores que fazem parte e contribuem para o funcionamento do PECE-POLI, principalmente ao coordenador deste curso, Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira.

A todos os colegas desta caminhada pelo companheirismo e dedicação demonstrados durante o curso, principalmente aos colegas Beethoven Narváez Romo, Clauber Barão Leite e Heliara Azenir Costa.

E em especial à orientadora Prof.^a Dra. Patrícia Helena Lara dos Santos Matai, pelos seus ensinamentos, sua paciência e seu dom de ensinar.

Resumo

Diante do atual cenário mundial, com a intensificação das atividades humanas, o crescimento desenfreado da população, a utilização de combustíveis fósseis e a extração crescente de recursos naturais, cresce a preocupação com o futuro não só da vida humana como também de todo o funcionamento do planeta Terra.

Inerente ao desenvolvimento humano está a geração de resíduos sólidos, e proporcionalmente ao estágio de desenvolvimento de um país, cresce a sua geração de lixo. Tarefas cada vez mais complicadas dos grandes centros urbanos e das aglomerações de seres humanos são a coleta e a destinação adequada dos seus resíduos. No Brasil os avanços neste setor caminham a passos lentos.

Porém, é através desta destinação adequada que surge uma possibilidade importante: a geração de energia elétrica através de um combustível renovável e, de certo modo, sem custo. Responsável por emitir gases de efeito estufa (GEE's) em grande escala e utilizar combustíveis fósseis e não renováveis, a maneira com que vários países produzem energia elétrica é fortemente criticada.

Este estudo busca retratar a atual situação dos serviços de coleta e destinação adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil e realizar uma análise do potencial de geração de energia elétrica a ser explorado nos aterros sanitários.

Além disso, busca-se evidenciar os ganhos ambientais associados ao desenvolvimento deste setor, diminuindo a emissão de metano para a atmosfera e, ainda, contribuindo para a melhoria nos serviços de coleta e destinação adequada de RSU, cooperando para o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Palavras-chave: Biogás, energia, metano, resíduos sólidos

Abstract

Given the current global scenario, the intensification of human activities, the rampant population growth, the use of fossil fuels and the growing extraction of natural resources, a growing concern about the future not only of human life but also of the entire functioning of the planet earth.

Inherent in human development is the generation of solid waste, and in proportion to the stage of development of a country grows its waste generation. Increasingly complicated tasks of large urban centers and agglomerations of human beings are the collection and proper disposal of their waste. Brazil advances in this sector go at a slow pace.

However, proper disposal is through this that raises an important possibility: the generation of electricity through a renewable fuel, in a way, no charge. Responsible for emitting greenhouse gases (GHG) on a large scale and use fossil fuels and non-renewable, the way that many countries produce electricity is heavily criticized.

This study seeks to portray the current status of collection services and proper disposal of solid waste (MSW) in Brazil and perform an analysis of potential power generation to be explored in landfills.

In addition, we seek to highlight the associated development of this sector environmental gains, reducing methane emissions to the atmosphere, and also helping to improve the collection and proper disposal of MSW services, cooperating in the fulfillment of the National Solid Waste (PNRS).

Keywords: Biogas, energy, methane, solid waste

Lista de Figuras

- Figura 1 Matriz Elétrica Brasileira 2012
- Figura 2 Matriz Elétrica Brasileira 2011
- Figura 3 Matriz Elétrica Brasileira
- Figura 4 Ordem de prioridades consideradas no gerenciamento de resíduos sólidos
- Figura 5 Antigo lixão localizado na cidade de Itanhaém, litoral paulista
- Figura 6 Aterro Controlado
- Figura 7 Foto aérea do Aterro Bandeirantes, localizado no município de São Paulo
- Figura 8 Vista do Aterro Vila Albertina, localizado no município de São Paulo
- Figura 9 Demonstrativo da Geração total e per capita de RSU nos anos de 2011 e 2012
- Figura 10 Demonstrativo da Coleta total e per capita de RSU nos anos de 2011 e 2012
- Figura 11 Destinação de RSU no Estado de São Paulo
- Figura 12 Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos no Estado de São Paulo (IQR 1997)
- Figura 13 Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos no Estado de São Paulo (IQR 2010)
- Figura 14 Evolução do IQR Médio no Estado de São Paulo
- Figura 15 Central de triagem de resíduos em Paulínia (SP)
- Figura 16 Amostragem dos municípios que realizam alguma iniciativa de coleta seletiva no Brasil
- Figura 17 Municípios que realizam iniciativas de coleta seletiva no Brasil de acordo com sua população
- Figura 18 Processo de Limpeza do biogás
- Figura 19 Comportamento padrão da vazão de metano em um aterro sanitário
- Figura 20 Motor ciclo Otto adaptado a biogás.
- Figura 21 Processo de geração de energia elétrica através do biogás.
- Figura 22 Estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás (fração metano) proveniente

Lista de Tabelas

Tabela 1	Coleta e Geração de RSU no Estado de São Paulo
Tabela 2	Participação dos principais materiais no total de RSU coletado no Brasil em 2012
Tabela 3	Componentes dos resíduos sólidos quanto a biodegradação
Tabela 4	Composição do biogás de aterro
Tabela 5	Características do Local de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos
Tabela 6	Resumo dos cálculos apresentados de estimativa de geração de metano
Tabela 7	CO2 Eq. referente às emissões de metano nas Situações de 1 a 5

Lista de Abreviaturas e Símbolos

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRELPE** – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
- BEN** – Balanço Energético Nacional
- CENBIO** – Centro Nacional de Referência em Biomassa
- CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CH₄** – Metano
- CNM** – Confederação Nacional dos Municípios
- CO₂** – Dióxido de Carbono
- COD** – Fração de carbono orgânico degradável no lixo
- COD_F** – fração do COD que pode se decompor
- EPE** – Empresa de Pesquisa Energética
- ETE** – Estação de Tratamento de Esgoto
- F** – Quantidade de CH₄ presente no biogás no aterro sanitário
- FCM** – Fator de correção de metano
- GEE** – Gás de Efeito Estufa
- GN** – Gás Natural
- GWP** – *Global Warning Potential* (Potencial de Aquecimento Global)
- Hab** – Habitante
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IEA** – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)
- IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
- IPEA** – Instituto de Pesquisa Aplicada
- kg** - Quilograma
- MCI** – Motor de Combustão Interna
- MDL** – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente
- MW** - Megawatt
- NBR** – Norma Brasileira Regulamentadora
- PEAD** – Polietileno de Alta Densidade
- Pop_{urb}** – População urbana
- PNAD** – Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RSU_f – fração de resíduos sólidos urbanos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUASA – Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária

UHE – Usina Hidrelétrica

UTE – Usina Termelétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Resíduos Sólidos	15
3.1.1 O Conceito de Lixo	15
3.1.2 O lixo e a Sustentabilidade	16
3.1.3 Tipos de Resíduos	17
3.1.4 Tratamento dado ao RSU no Brasil	19
3.2 Levantamento de dados sobre a coleta de RSU no Brasil	24
3.3 Biogás	32
3.3.1 Biogás: formação e decomposição	32
3.3.2 Digestão anaeróbica	33
3.4 Geração de energia elétrica	35
3.6 Custo ambiental	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 Metodologia de determinação do potencial de metano	42
4.2 Estimativa da geração anual de metano	44
4.3 Cálculo do CO ₂ Equivalente para as emissões evitadas de metano	46
4.4 Análise sobre as cinco situações propostas	47
5 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	52

1. Introdução

Atualmente, devido à intensificação das atividades humanas, houve um considerável aumento na geração de resíduos sólidos, na utilização de combustíveis fósseis e na extração de recursos naturais.

Como resultado destas recorrentes discussões, diversas pesquisas passaram a ser desenvolvidas visando uma transformação no modelo de desenvolvimento dos países.

Com isto, a geração de energia elétrica tornou-se tema principal nestas discussões, pois, além de ser imprescindível para o desenvolvimento de uma nação, ela responde por uma considerável fatia das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no mundo, gases esses considerados como causadores das mudanças climáticas. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2008), o setor energético foi responsável por 64% das emissões de GEE no mundo.

Atualmente, o setor elétrico brasileiro vive um cenário instável. Embora tenha o potencial de desenvolver a geração de energia através de quase todas as fontes de geração hoje disponíveis, o Brasil tem uma matriz energética basicamente hídrica, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2, com esta fonte correspondendo por aproximadamente 80% da geração. Até mesmo o setor hidrelétrico enfrenta dificuldades, pois o apelo ambiental que existe atualmente vem impedindo a construção de grandes hidrelétricas, que alagam grandes áreas para seus reservatórios, e com isto a geração é rapidamente comprometida em momentos de estiagem, já que as usinas a fio d'água têm capacidade de armazenar quantidades consideravelmente inferiores de água à quantidade armazenada pelas hidrelétricas convencionais.

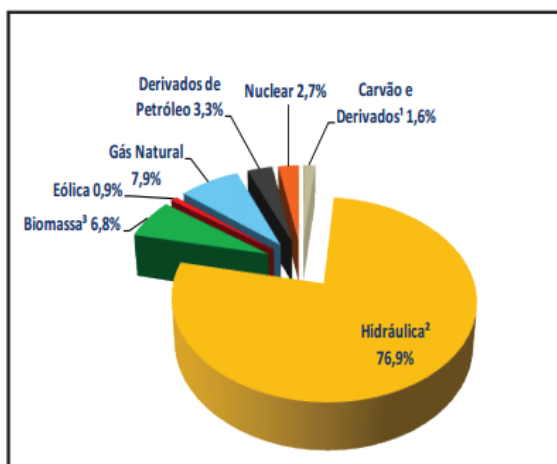


Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira 2012
Fonte: EPE – BEN 2013

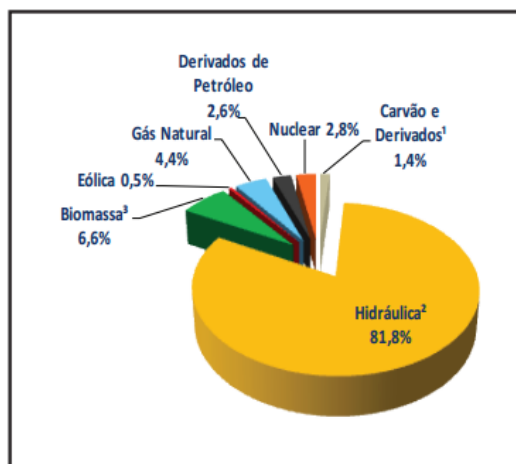


Figura 2 – Matriz Elétrica Brasileira 2011
Fonte: EPE – BEN 2013

Mesmo com aproximadamente 85% da energia elétrica sendo gerada através de fontes renováveis no ano de 2012, conforme apresentado na Figura 3, existe um fato recente que deve ser ressaltado. Este índice, que era de aproximadamente 89% no ano de 2011, teve uma queda em decorrência do aumento no uso da geração térmica, que vem ocorrendo devido às condições hidrológicas desfavoráveis.

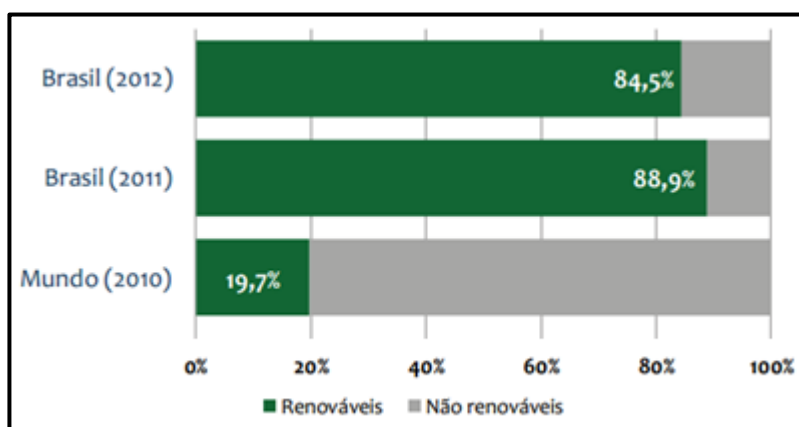


Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: Adaptado de EPE – BEN 2013

Paralelamente ao consumo crescente de energia elétrica e a sua inevitável necessidade, outro grave problema também está sempre presente nos assuntos que envolvem a gestão pública: a destinação de resíduos sólidos. A geração de resíduos sólidos está diretamente relacionada ao crescimento da população e dos seus hábitos de consumo, com destaque para os países desenvolvidos, onde o consumo de bens descartáveis é consideravelmente maior. Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 26.340 toneladas/dia foram recolhidas das residências do Estado de São Paulo em 2010.

Neste contexto, surge uma alternativa que une estes dois obstáculos do desenvolvimento atual: a geração de energia elétrica através dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), ou mais precisamente da decomposição destes. A decomposição dos resíduos em aterros sanitários provoca a geração do biogás, composto basicamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), que é captado e geralmente queimado por um *flare* para diminuir seus impactos ao meio ambiente. Porém, observa-se que este gás tem um aproveitamento energético e pode ser utilizado para gerar energia no próprio aterro sanitário, reduzindo a emissão de GEE's, ocasionando um aumento da oferta de energia e possibilitando a geração descentralizada.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Estimar os ganhos ambientais associados ao uso do biogás de aterro sanitário na geração de energia elétrica

2.2 Objetivos Específicos

- Realização de levantamento sobre a geração e a coleta de resíduos sólidos urbanos;
- Estimativa da quantidade de biogás possível de ser produzida através dos resíduos sólidos urbanos no Brasil;
- Demonstrar os métodos de cálculo para a estimativa da geração do biogás;
- Calcular a emissão evitada de metano através desta atividade; e
- Apontar o ganho ambiental resultante da queima do biogás de aterro sanitário.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Resíduos Sólidos

3.1.1 O Conceito de Lixo

Costuma-se chamar de lixo tudo o que não se tem mais utilidade, valor ou serventia. O dicionário Michaelis apresenta a seguinte definição: *“Aquilo que se varre para tornar limpa uma casa, rua ou jardim, varredura, restos de cozinha e refugos de toda espécie, como latas vazias e embalagens de mantimentos, que ocorrem em uma casa, imundície, sujeira.”* Sempre esteve atrelada ao conceito da palavra uma impressão de que todo lixo proveniente de coleta pública, oriundo de empresas e fábricas, de varrição de ruas, poda de árvores, entre outras, não têm mais vida útil e, muito menos, valor econômico. Com isso, a sociedade e os governos procuraram viabilizar maneiras de armazenar ou eliminar todo este montante, já que este, se não tratado, poderá trazer doenças à população do entorno e contaminar solo, rios e o lençol freático, através da percolação do chorume. O chorume que, conforme a CETESB, pode ser definido como: líquido de elevado potencial poluidor, de cor escura e odor desagradável, resultado da decomposição da matéria orgânica.

Tecnicamente, o termo “resíduo sólido” é utilizado para denominar o lixo, que devido ao seu risco à saúde, passou a ser classificado, tendo cada classificação as suas próprias regras para acondicionamento, transporte e destinação final.

O Resíduo Sólido encontra sua definição na legislação brasileira segundo a Resolução 5/1993, artigo 1º, inciso I, do Conama:

“Resíduos Sólidos: conforme a NBR-nº 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.”

Existem estudos que comprovam que o lixo, atualmente visto como um grave problema para a gestão pública, poderia apresentar diversas alternativas, desde a

reutilização de materiais até sua utilização na agricultura ou na geração de energia térmica ou elétrica.

Após ultrapassar todas as etapas de reutilização ou tratamento dos resíduos, previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída através da Lei 12.305/2010, e que serão tratadas a diante, restam os rejeitos, definidos nesta mesma Política como:

“Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.”

3.1.2 O Lixo e a Sustentabilidade

No vídeo “A história das coisas”, Annie Leonard descreve de uma maneira simples e didática os hábitos e costumes das pessoas, empresas e governos nos dias atuais, questionando o consumo exacerbado dos recursos naturais e de combustíveis fósseis, e consequentemente de seus efeitos adversos, como a poluição de modo geral e mais especificamente da geração excessiva de lixo. A autora destaca o que nomeia de “Obsolescência Planejada”, ou seja, os produtos são criados hoje para que em pouco tempo já sejam considerados obsoletos, e tenham de ser substituídos por um produto mais moderno, desta mesma marca, acelerando o descarte e o processo de geração de lixo.

Leonard destaca que manipulação da indústria e da mídia sobre as pessoas, que as levam a comprar e descartar produtos frequentemente é um fenômeno denominado “Obsolescência Perceptiva”.

Os fenômenos citados contribuem de forma significativa para que o montante de lixo seja cada vez maior. Portanto, torna-se necessária uma mudança na cultura e nos hábitos da sociedade atual que apresenta uma crescente produção per capita de lixo. Esta iniciativa deve surgir a partir dos Governos. As externalidades do crescente consumo de bens descartáveis devem ser imputadas às empresas produtoras, às indústrias. A análise de ciclo de vida dos produtos deve ser considerada e, sempre que possível, o descarte dos materiais deve ser realizado através de sua produtora, bem como, o correto tratamento/destinação dos resíduos. A transformação desse processo que hoje é linear em uma cadeia (em algo cíclico) tende a diminuir a crescente e descontrolada geração de lixo.

O Governo Brasileiro, através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criou mecanismos como o de logística reversa e de responsabilidade compartilhada, que são descritos na forma da Lei como:

- **Logística Reversa:** “instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação.”

- **Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos:** “conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei.”

Já existe legislação em vigor, tanto estadual como municipal, que prevê a responsabilidade de destinação ou até o recolhimento de produtos. Porém, no geral esta legislação abrange apenas os resíduos perigosos como lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias, embalagens contaminadas entre outros, demonstrando se tratar muito mais de uma questão de saúde pública do que um avanço no que se refere à sustentabilidade.

3.1.3 Tipos de Resíduos

Embora o foco deste presente trabalho recaia especificamente sobre os resíduos sólidos urbanos, é importante um breve detalhamento a respeito da tipologia dos resíduos sólidos, a fim de nortear o entendimento a respeito da terminologia adotada sobre os resíduos e a abrangência de cada termo. A Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos, quanto à origem, em:

- a) **resíduos domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;

- b) **resíduos de limpeza urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

- c) **resíduos sólidos urbanos:** os englobados nas alíneas "a" e "b";

- d) **resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";

e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";

f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 10.004:2004, classifica os resíduos sólidos quanto ao seu potencial dano ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Estes podem ser classificados em:

Classe I – Perigosos: são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada;

Classe II – Não Perigosos

II A – Não Inertes: são os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos ou Classe II B – Inertes;

II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura

ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G.

3.1.4 Tratamento dado ao RSU no Brasil

A PNRS, através de seu 3º Artigo define destinação final ambientalmente adequada como:

“Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos; e disposição final ambientalmente adequada como: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Portanto, esta Política dispõe de uma ordem de prioridades a serem levadas em consideração na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos. Conforme pode ser observado na Figura 4, a ordem considerada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é a seguinte: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.



Figura 4: Ordem de prioridades consideradas no gerenciamento de resíduos sólidos
Fonte: ABRELPE, 2013.

No Brasil costuma-se encaminhar os resíduos sólidos para três destinos: aterros sanitários, aterros controlados e, de forma não controlada, para os lixões.

Embora a PNRS tenha previsto que os lixões devem ser extintos, até o presente ano de 2014, mais precisamente no mês de agosto, ainda se utiliza este tipo de destinação para os resíduos sólidos provenientes de diversas naturezas. De acordo com a CETESB (2014), estes três locais têm a seguinte definição:

Aterro Sanitário: “forma de disposição mais econômica de resíduos sólidos urbanos e ambientalmente segura. Consiste na disposição do lixo coletado no solo, utilizando-se métodos de engenharia para confinar os despejos na menor área e volumes possíveis e cobri-los com uma camada de terra ao final da jornada diária ou em períodos mais frequentes. O objetivo principal do aterro sanitário é o de melhorar as condições sanitárias relacionadas aos descartes sólidos urbanos evitando os danos da sua degradação descontrolada.”

Aterro Controlado: “local utilizado para o despejo do lixo coletado, em que se tem o simples cuidado de, após a jornada de trabalho, cobri-lo com uma camada de terra.”

Lixões: “vazadouros a céu aberto, onde o lixo é lançado sobre o terreno sem qualquer cuidado ou técnica especial.”

“Quando os resíduos são encaminhados aos locais inadequados de disposição final, esses podem causar problemas envolvendo aspectos sanitários, ambientais e sociais, tais como a disseminação de doenças, a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais e a poluição do ar.” (CETESB, 2010).

De forma sucinta, dentre estas três alternativas o aterro sanitário é a única maneira adequada de destinação. Os lixões são áreas previamente sem utilidade onde se inicia o despejo dos resíduos sem realizar nenhum tratamento prévio do solo, onde estes resíduos são depositados e sequer recebem algum tratamento posterior. Conhecido também como descarga a céu aberto, ou vazadouro, esta prática pode acarretar diversos problemas de saúde à população, principalmente aos terrenos lindeiros, mas não restrito a estes. Além de causar mau cheiro e atrair animais e insetos, contribuindo para a proliferação de vetores de doenças (ratos, mosquitos,

baratas, moscas entre outros) por se tratar de uma área sem preparo para este tipo de atividade. O chorume proveniente destes resíduos percola através do solo com ajuda da água das chuvas, contaminando tanto o próprio solo como podendo atingir ainda o lençol freático, sem contar ainda a geração de metano e demais gases provenientes da decomposição destes resíduos que são liberados para a atmosfera sem nenhum tratamento. Considerando ainda que não há um controle sobre o tipo de resíduo que ali é recebido, ocorrendo o descarte de produtos perigosos como resíduos de saúde, industriais e outros. Outro grave problema social que está associado aos lixões é a presença de famílias que utilizam estas áreas como moradia e forma de obter alimentos e itens que de alguma forma sirvam para sua sobrevivência, seja vendendo ou trocando por alimentos.

Por determinação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, as cidades precisam desativar os lixões até o dia 02 de agosto de 2014. Segundo a Confederação Nacional de Municípios (CNM), mais de dois mil municípios ainda possuem lixões e não serão capazes de atender a este prazo. A CNM ainda lamenta o fato de que as leis são criadas e os municípios não recebem recursos tanto financeiros, como técnicos para atendê-las, considerando impossível o cumprimento dos prazos estabelecidos pela PNRS.

A Figura 5 apresenta um exemplo de lixão, antigamente utilizado pelo município de Itanhaém/SP, para depositar os resíduos sólidos de maneira descontrolada.



Figura 5 – Antigo lixão localizado na cidade de Itanhaém, litoral paulista

Fonte: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - 2014

Os aterros controlados (Figura 6), mesmo que apresentem algum tipo de cuidado com a sua manutenção e seus impactos ambientais associados, ainda estão longe de ser considerados como uma maneira adequada de disposição dos resíduos, visto que, conforme descrito na definição da CETESB, estas áreas apenas recebem uma cobertura de terra. Mesmo que este procedimento iniba a proliferação de espécies de animais e evite que o local seja utilizado como moradia, não prevê nenhum tratamento para o chorume liberado e nem para os gases emitidos.



Figura 6: Aterro Controlado

Fonte: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - 2014

E, por fim, os aterros sanitários, como a única forma adequada de disposição final para os resíduos sólidos que já tiveram esgotadas as possibilidades de devolvê-los à cadeia produtiva, chamados de rejeitos. Na prática, na falta de um sistema eficiente de coleta e de projetos de coleta seletiva, não apenas os rejeitos são enviados aos aterros sanitários, mas também os resíduos que poderiam receber algum outro tratamento mais adequado.

O aterro sanitário é um aprimoramento de uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para descarte de seus resíduos, que é o aterramento. Modernamente, é uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar no solo, resíduos no menor espaço prático possível, causando o menor dano possível ao meio ambiente ou à saúde pública (CETESB, 2014). Ainda segundo CETESB (2014), podem ser divididos em dois tipos. São eles:

- Aterro convencional: “formação de camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno resultando em configurações típicas de “escada” ou de ‘troncos de pirâmide’”;
- Aterro em valas: “o uso de trincheiras ou valas visa facilitar a operação do aterramento dos resíduos e a formação das células e camadas; assim sendo, tem-se o preenchimento total da trincheira, que deve devolver ao terreno a sua topografia inicial.”

Embora o acondicionamento de resíduos em aterros sanitários seja uma técnica basicamente simples, ainda assim são exigidos diversos cuidados específicos.

Nos aterros sanitários é realizada uma adequação ao solo para que este receba os resíduos de maneira segura e para que não ocorra nenhum escape para camadas inferiores do solo, evitando que o chorume tenha contato com águas subterrâneas. É realizada a impermeabilização na base do aterro através do uso de argila ou de geomembranas sintéticas.

A instalação de drenos de gás serve como canal de saída destes gases formados no interior do aterro. Se utilizado para fins energéticos, este gás pode ser recolhido através de um ramal central interligado a todos os drenos verticais. Estes drenos podem ser construídos de concreto ou de polietileno de alta densidade (PEAD).

A coleta de chorume é realizada através da base do aterro, sendo este direcionado a lagoas preparadas com impermeabilização do seu contorno ou para tanques de armazenamento fechados. Após coletado, o chorume pode ser tratado no próprio local ou enviado para estações de tratamento de esgoto (ETE's) próximas ao aterro.

A construção do sistema de drenagem de águas pluviais visa captar a água proveniente das chuvas e evita sua infiltração, para evitar a geração de chorume.

Os aterros sanitários contam ainda com acessos internos para interligação entre os diversos pontos, portaria para controlar o acesso dos caminhões e impedir a entrada de pessoas estranhas ao local e isolamento da área.

As Figuras 7 e 8 apresentam exemplos de aterros sanitários localizados na cidade de São Paulo.



Figura 7: Foto aérea do Aterro Bandeirantes, localizado no município de São Paulo
 Fonte: Loga, 2014



Figura 8: Vista do Aterro Vila Albertina, localizado no município de São Paulo
 Fonte: Loga, 2014

3.2 Levantamento de dados sobre a coleta de RSU no Brasil

Segundo dados da ABRELPE, no ano de 2012 a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil cresceu 1,3% se comparada ao ano anterior. Conforme mostrado na Figura 9, a geração de RSU em 2012 foi de 62.730.096 toneladas, sendo que em 2011 esse número foi de 61.936.368 toneladas.

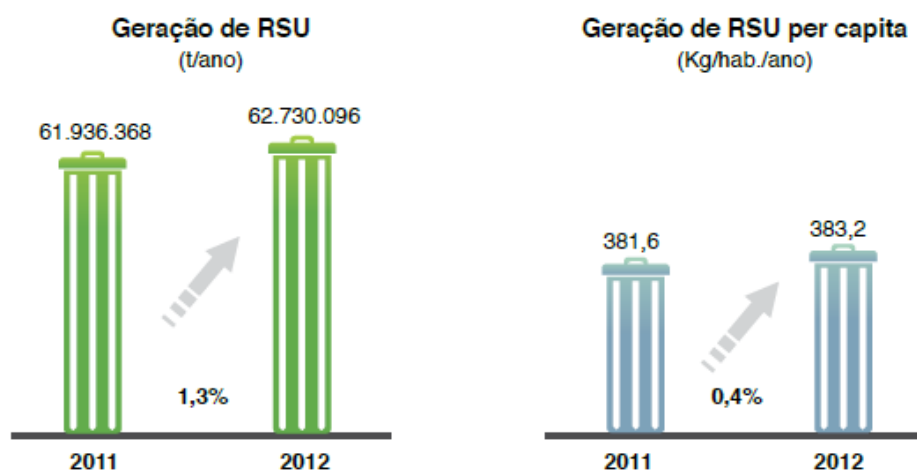


Figura 9: Demonstrativo da Geração total e per capita de RSU nos anos de 2011 e 2012

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 – ABRELPE, 2013

Observa-se também que houve um aumento na ordem de 0,4% em 2012 na geração per capita de RSU, novamente tendo como base o ano de 2011. Este dado evidencia que a geração de RSU teve um crescimento superior à taxa de crescimento populacional, que foi de 0,9% neste mesmo período.

A Figura 10 apresenta a comparação entre a quantidade total gerada de RSU e a quantidade efetivamente coletada destes resíduos. Das 62.730.096 toneladas geradas no ano de 2012, foi coletado o total de 56.561.856 toneladas, evidenciando que aproximadamente 6,2 milhões de toneladas não foram coletadas e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012, este número foi 3% menor do que o constatado em 2011.

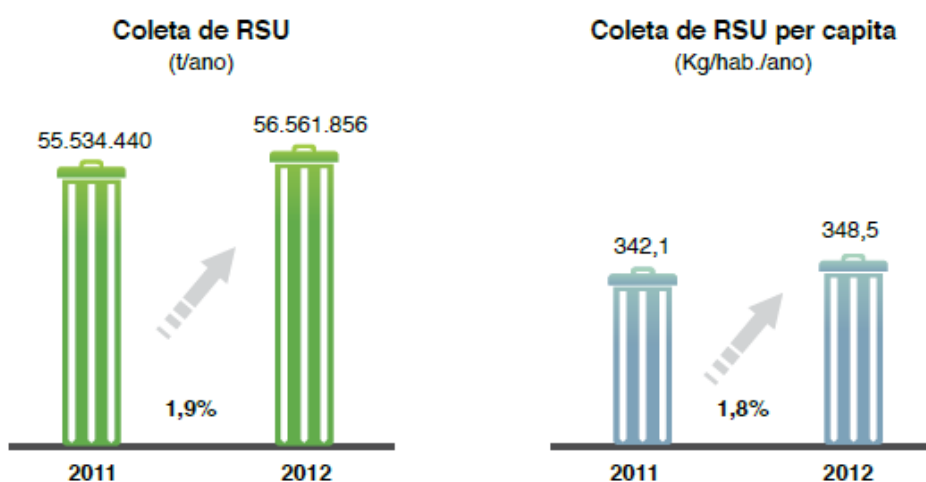


Figura 10: Demonstrativo da Coleta total e per capita de RSU nos anos de 2011 e 2012

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 – ABRELPE, 2013

Restringindo a análise somente ao Estado de São Paulo, com uma população de 40.177.103 habitantes, no ano de 2012, houve a geração de 56.626 toneladas de RSU por dia, sendo que destas foram coletadas 55.967 toneladas, registrando a coleta diária de 1,393 kg por habitante, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Coleta e Geração de RSU no Estado de São Paulo

População Urbana		RSU Coletado				RSU Gerado (t/dia)	
		(Kg/hab./dia)		(t/dia)			
2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
39.874.768	40.177.103	1,385	1,393	55.214	55.967	56.007	56.626

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 – ABRELPE, 2013

Das 55.967 toneladas de RSU geradas por dia no ano de 2012, 76,3% foram destinadas adequadamente, ou seja, foram enviadas para aterros sanitários. O restante não teve o destino esperado, sendo que 15% destinaram-se para aterros controlados e 8,7% foram enviadas para os lixões, conforme pode ser observado na Figura 10. A quantidade destinada inadequadamente continuou apresentando crescimento, sendo que o percentual da quantidade enviada para aterros sanitários teve uma leve queda em comparação com o ano anterior (2011), mesmo havendo um crescimento de quase 500 toneladas por dia, como pode ser observado através da Figura 11.

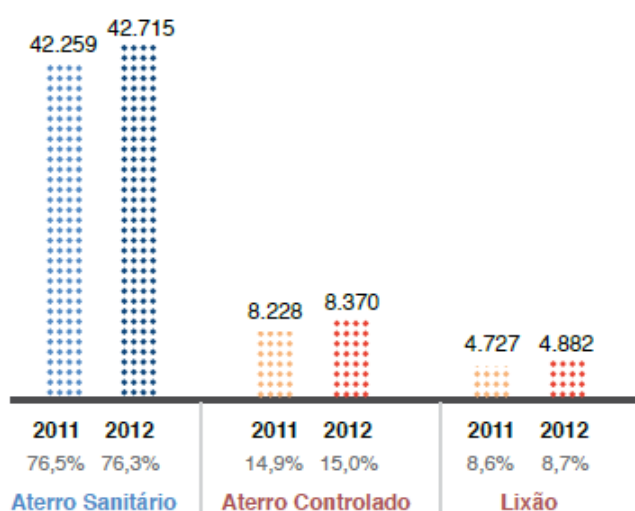


Figura 11: Destinação de RSU no Estado de São Paulo

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 – ABRELPE, 2013

Ainda sobre o Estado de São Paulo, a CETESB - agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de

atividades geradoras de poluição, com o intuito de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo - realiza uma avaliação das condições ambientais dos locais de disposição dos resíduos sólidos domiciliares e divulga através do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Os aterros são classificados através do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) que através de um questionário busca avaliar as condições de operação dos aterros de uma forma padronizada, onde os locais inadequados são classificados de 0,0 a 6,0, controlados de 6,1 a 8,0 e os adequados de 8,1 a 10,0.

Desde 1997 a CETESB publica este inventário, o que possibilita observar uma significativa melhora no índice de qualidade, como pode ser observado através das figuras 12 e 13 a seguir.

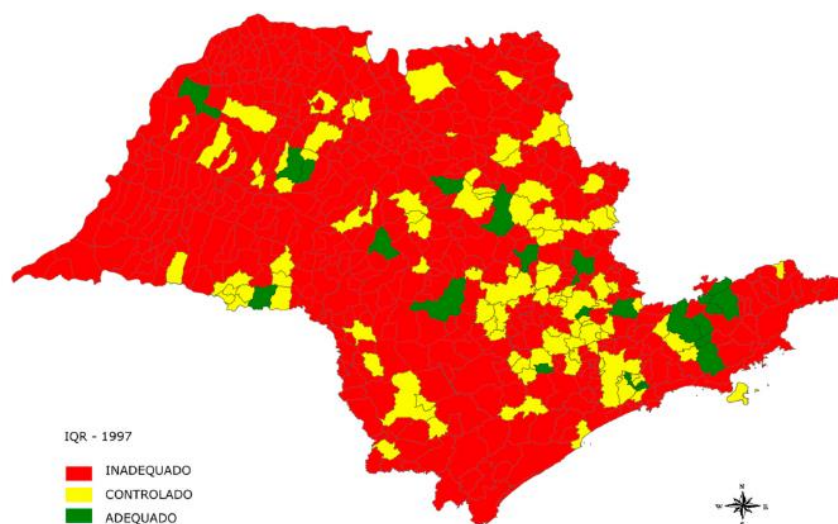


Figura 12: Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos no Estado de São Paulo (IQR 1997)

Fonte: Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo - 2014

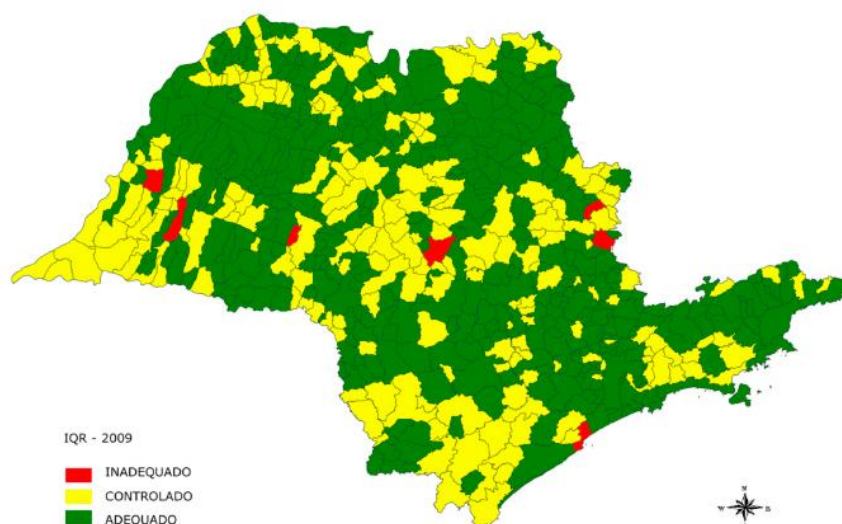


Figura 13: Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos no Estado de São Paulo (IQR 2010)

Fonte: Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo - 2014

A Figura 14 apresenta a evolução dos resultados de IQR médio estadual nos anos 1997 até 2010, onde é possível destacar que no último ano avaliado (2010), assim como nos anos de 2001 e 2004, houve uma queda em relação ao índice do ano anterior. Nos outros anos, houve melhora nos índices de IQR médio estadual avaliados, ou ao menos não houve diminuição destes valores.

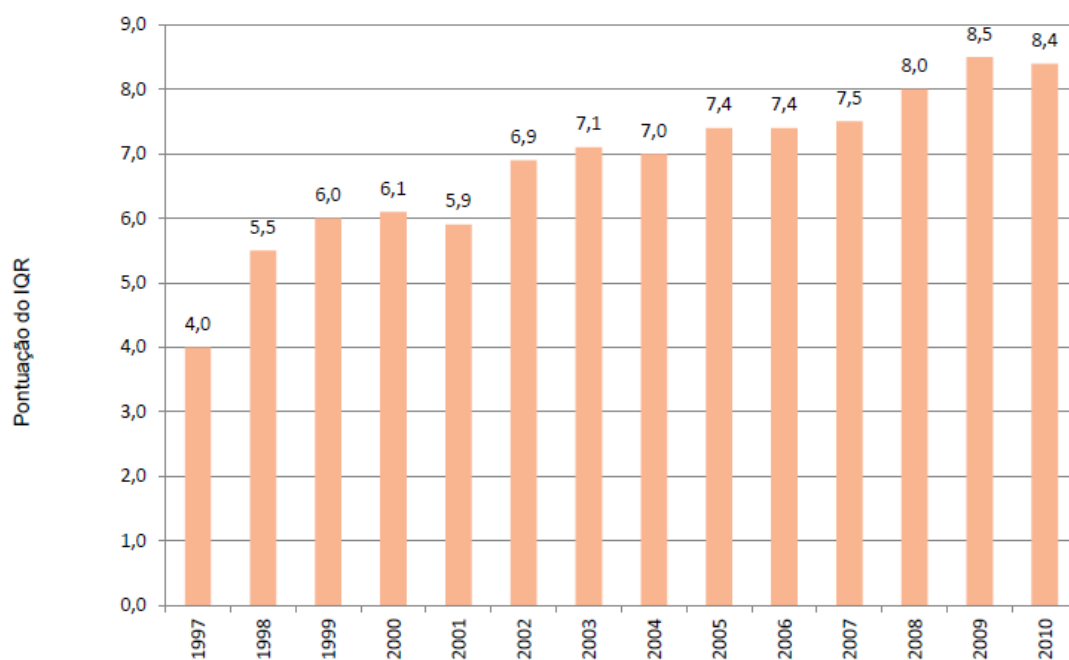


Figura 14: Evolução do IQR Médio no Estado de São Paulo

Fonte: Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo

Retornando à análise do resíduo coletado em todo o país, outra avaliação importante fornecida pela ABRELPE refere-se à participação dos materiais no total de resíduos sólidos urbanos coletados em 2012 (Tabela 2). Considerando que a geração do biogás está relacionada à quantidade de matéria orgânica contida no montante total depositado no aterro sanitário, conforme apresentado anteriormente, torna-se fundamental um estudo detalhado sobre o tipo de resíduo coletado na área de abrangência do aterro, visto que a participação de cada material difere em cada região, dependendo da vocação imobiliária, do poder aquisitivo da população, dentre outros fatores. No ano de 2012, os resíduos orgânicos representaram 51,4% dos resíduos coletados, ou 29.072.794 toneladas.

Tabela 2: Participação dos principais materiais no total de RSU coletado no Brasil em 2012

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.640.294
Papel, Papelão e TetraPak	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria Orgânica	51,4	29.072.794
Outros	16,7	9.445.830
TOTAL	100,0	56.561.856

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 – ABRELPE, 2013.

Visando ilustrar o comportamento da geração de biogás, são apresentados na Tabela 3 os componentes principais presentes no RSU quanto à biodegradação.

Tabela 3: Componentes dos resíduos sólidos quanto a biodegradação

Componente do lixo orgânico	Biodegradável	
	Rapidamente	Lentamente
Restos de alimentos	x	
Jornais	x	
Papel de escritório	x	
Papelão	x	
Plásticos		x
Resíduos Têxteis		x
Borrachas		x
Couro		x
Folhas e grama	x	
Madeira		x

Fonte: Tchobanoglous *et al*, 1993

Devendo ser implementada pelos municípios como forma de atendimento à hierarquia estabelecida pela gestão de resíduos exigida pela PNRS, a coleta seletiva foi definida por esta mesma política como a coleta de resíduos previamente separados de acordo com sua constituição e composição. A Figura 15 mostra uma central de triagem de resíduos situada em Paulínia, SP.



Figura 15: Central de triagem de resíduos em Paulínia (SP)

Fonte: Cooperlândia Ambiental do Brasil, 2014

Em pesquisa realizada pela ABRELPE, 2013, foi constatado que 59,8% dos municípios brasileiros realizam iniciativas de Coleta Seletiva, ilustrado na Figura 16. Inicialmente este número pode parecer animador, porém, na prática estes dados não são significativos. O questionário aplicado aos municípios que originou estes dados é pouco aprofundado, sendo consultado apenas se o município realiza iniciativas de coleta seletiva, não qualificando tais medidas, diferenciando apenas as cidades que não possuem nenhuma medida a respeito do assunto, ou seja, são igualados os municípios que realizam um sistema eficiente de coleta seletiva àqueles que disponibilizam apenas um ponto de coleta voluntária. Portanto, não é possível considerar que os resíduos passíveis de reciclagem são destinados corretamente nestes 59,8% dos municípios brasileiros. Ressalta-se a profunda necessidade de haver avanços significativos na coleta e no fornecimento de informações, não apenas referentes à coleta seletiva, mas a todo o gerenciamento do resíduo sólido produzido e coletado no Brasil.

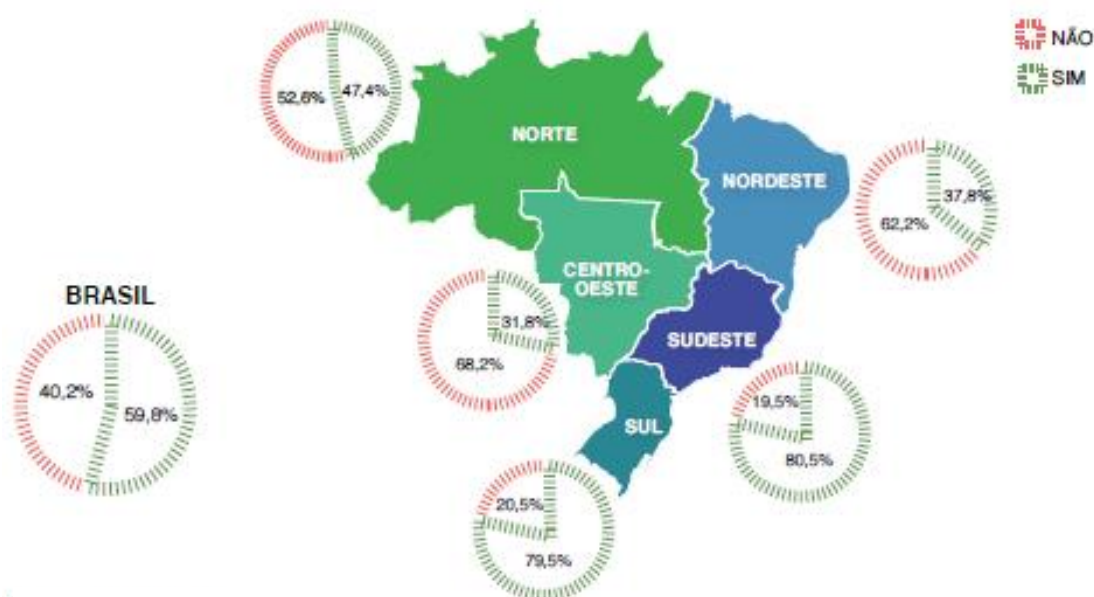


Figura 16: Amostragem dos municípios que realizam alguma iniciativa de coleta seletiva no Brasil

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 - ABRELPE

Outro fato a destacar nesta pesquisa é a relação apresentada dos municípios que possuem iniciativas de coleta seletiva classificando-os quanto a sua população, conforme demonstra a Figura 17. Estes dados evidenciam a falta de capacidade dos municípios pequenos em cumprir estas metas estabelecidas na PNRS, muitas vezes por falta de recursos. Oitenta e sete por cento dos municípios com mais de 100 mil habitantes possuem iniciativas de coleta seletiva, sendo que este número ultrapassa a

margem de 90% nos municípios com população urbana acima de 500 mil habitantes. Por outro lado, este índice não chega a 60% nos municípios onde a população urbana não atinge 50 mil habitantes.

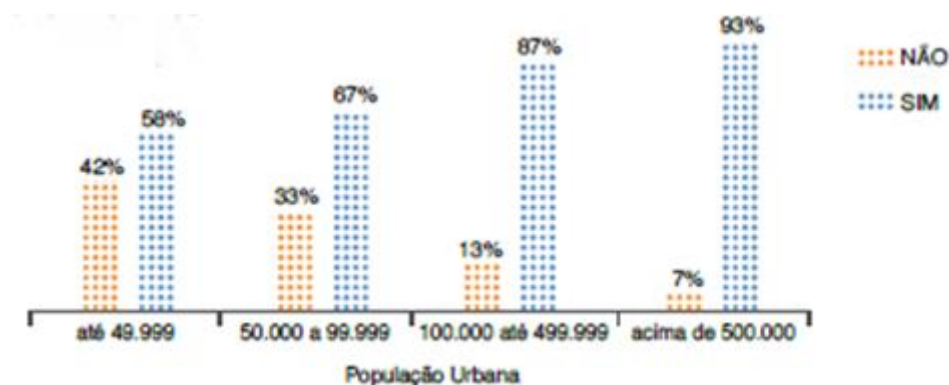


Figura 17: Municípios que realizam iniciativas de coleta seletiva no Brasil de acordo com sua população

Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012 – ABRELPE, 2013

3.3 Biogás

3.3.1 Biogás: formação e composição

O biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica. Sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos como lixo doméstico, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, lodo de esgoto, entre outros. De acordo com Pecora (2006), o biogás é composto tipicamente por 60% de metano (CH_4), 35% de dióxido de carbono (CO_2) e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), gás sulfídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), oxigênio (O_2) e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano. A Tabela 4 apresenta a composição do biogás de aterro.

Tabela 4: Composição do biogás de aterro

Composição	Porcentagem (base seca)
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Nitrogênio	2,0 - 5,0
Oxigênio	0,1-1,0
Enxofre, marcaptanas	0-1,0
Amônia	0,1-1,0
Hidrogênio	0-0,2
Monóxido de carbono	0-0,2
Gases em menor concentração	0,01-0,6

Fonte: Tchobanoglous *et al*, 1993

O metano, gás de maior presença no biogás, é um gás com potencial de aquecimento global equivalente a 21 vezes ao prejuízo do monóxido de carbono, sendo considerado um dos maiores vilões do agravamento do efeito estufa. Nos aterros sanitários são utilizadas técnicas de captação do biogás produzido, podendo este ser queimado em *flares*, transformando o metano em dióxido de carbono e minimizando o seu impacto ambiental, ou utilizá-lo na produção de energia térmica ou elétrica, agregando valor ao gás que antes era visto como problema devido ao seu potencial poluidor. Esta energia térmica produzida através da combustão do biogás pode ser utilizada no próprio aterro para tratamento do chorume gerado. Já a geração de energia elétrica, além de ser utilizada no próprio aterro, diminuindo o seu custo de operação, pode ainda ser exportada à concessionária local. Este gás pode, também, ser utilizado na iluminação do aterro, através de luminárias abastecidas a biogás.

3.3.2 Digestão anaeróbica

Evidências históricas indicam que o processo de digestão anaeróbica é uma das tecnologias mais antigas. O biogás era utilizado para aquecer a água de banho na Assíria durante o século 10 a.C. e na Pérsia durante o século 16. A digestão anaeróbica avançou juntamente com as pesquisas e, no século 17, Jan Baptista Van Helmont estabeleceu que gases inflamáveis estivessem envolvidos com o decaimento da matéria orgânica. Além disso, Alessandro Volta em 1776 também mostrou que

havia relação entre a quantidade de decaimento da matéria orgânica e a quantidade de gás inflamável produzido. Em 1808, Humphry Davy demonstrou a produção de metano através da digestão anaeróbica proveniente de esterco de gado. A utilização em série da digestão anaeróbica começou em 1859, com a construção da primeira planta em Bombaim, Índia. Em 1895 na cidade de Exter na Inglaterra, a digestão anaeróbica foi utilizada para recuperação do biogás nas estações de tratamento de esgoto e abasteciam as luminárias da cidade. Mais tarde os avanços da digestão anaeróbica foram devido ao desenvolvimento da microbiologia. Na década de 1930, pesquisas feitas por Buswell e outros cientistas identificaram bactérias anaeróbicas e as condições que promoviam a produção de metano (LUSK, 1997).

3.4 Geração de energia elétrica

A concepção de aterros sanitários que visam, além do armazenamento correto do lixo, o aproveitamento do biogás gerado ao longo do tempo, possibilita maior eficiência na produção e captação do metano gerado na degradação da matéria orgânica presente nos resíduos (PECORA et al, 2009).

Conforme já mencionado, este biogás coletado, que em alguns aterros brasileiros é queimado em *flares* visando diminuir seu impacto ambiental, pode ser utilizado para gerar energia elétrica.

Após a coleta e o encaminhamento até a central geradora, é realizada a limpeza deste gás, conforme a Figura 18, onde ocorre o resfriamento dos vapores de chorume presentes no biogás através da utilização de trocadores de calor, por meio do processo de condensação. O produto deste processo é incorporado ao chorume coletado em todo o aterro e então encaminhado para tratamento, conforme detalhado anteriormente. Ao ser resfriado, o biogás perde umidade e também parte dos seus contaminantes – prejudiciais aos motores – e então o metano segue para o grupo gerador. A retirada da umidade também é importante para não diminuir o poder calorífico do gás, porque parte da energia do processo seria consumida para evaporar esta umidade, influenciando diretamente no processo de combustão.

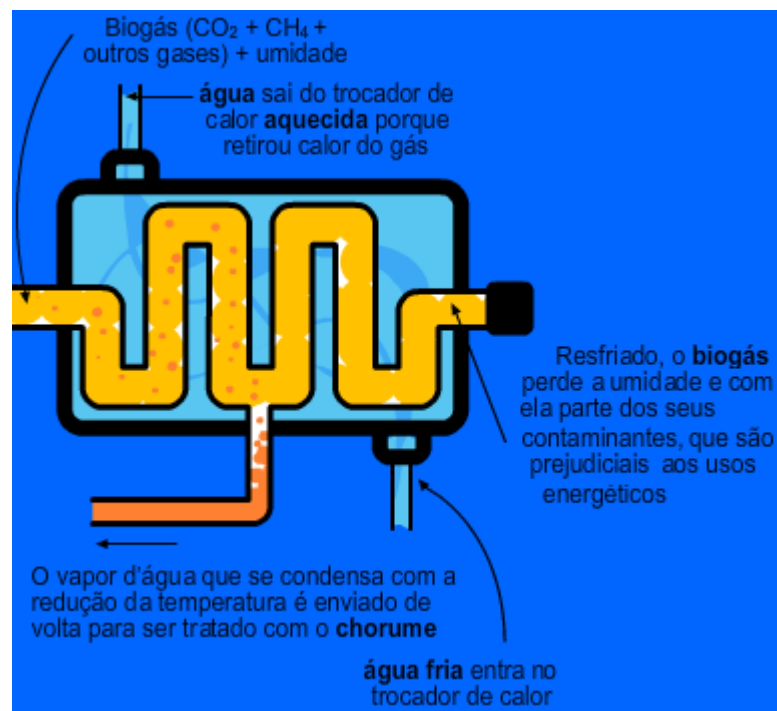


Figura 18 – Processo de Limpeza do biogás

Fonte: Adaptado de João Wagner Alves, 2010. Disponível em <http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/994/a-energia-que-vem-do-lixo.html>

A figura 19 demonstra o comportamento padrão da vazão de metano em um aterro sanitário; a curva é crescente durante o período em que o aterro recebe resíduo, haja vista a soma de um novo potencial de geração de biogás a cada tonelada de resíduo depositada no aterro. O ponto A da Figura 20 representa o último ano de disposição do resíduo no aterro. A partir deste ponto, a curva é governada pela constante de decaimento “k”, referente à degradação da matéria orgânica no tempo.

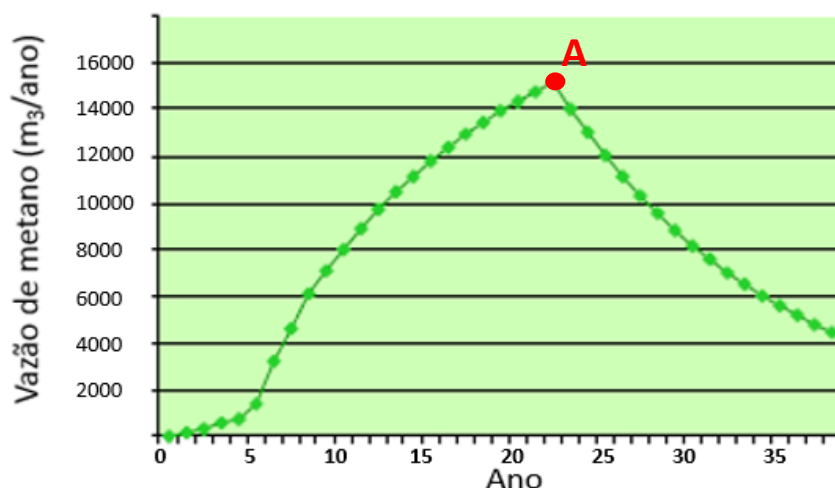


Figura 19 – Comportamento padrão da vazão de metano em um aterro sanitário

Fonte: Adaptado de PECORA, 2009

Dentre as tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás destacam-se as caldeiras, turbinas a gás e os motores de combustão interna. Existem também tecnologias emergentes como as células de combustíveis que, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, pode ser considerada uma tecnologia promissora (CASTRO, 2006).

Por não se tratar do foco deste estudo, não será abordado com profundidade o rendimento de cada alternativa e não haverá uma comparação entre as mesmas, sendo, portanto, considerada a utilização de motores de combustão interna (MCI), como exemplificado através da Figura 20, como a alternativa para a conversão em energia elétrica, justificada através da seguinte análise realizada pelo CENBIO:

“Para a conversão energética do biogás, os motores de combustão interna possuem maior eficiência, além de serem mais baratos. Já as turbinas a gás possuem maior eficiência global de conversão, quando operadas em cogeração (calor e eletricidade), porém, por ser um equipamento importado, o seu valor e os custos de operação e manutenção são elevados. Além do custo do equipamento em si, a microturbina exige que o gás combustível apresente propriedades mais controladas que os motores convencionais” (CENBIO, 2005).



Figura 20 – Motor ciclo Otto adaptado a biogás.

Fonte: CENBIO, 2009.

A conversão energética de um combustível consiste na transformação de um tipo de energia em outro. A conversão energética do biogás, portanto, é o processo de transformação da energia química de suas moléculas, por meio de combustão controlada, em energia mecânica. Essa energia mecânica poderá acionar um alternador gerando, então, a energia elétrica (CASTRO, 2006).

A conversão em energia elétrica ocorre a partir da combustão realizada através de um grupo gerador, ou seja, um motor associado a um gerador elétrico. O biogás é queimado e a energia química é transformada em energia mecânica, movimentando pistões que, por meio de interação com um campo magnético, resulta na geração de energia elétrica (Figura 21).

“Os motores ciclo Otto aspiram a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por centelha produzida na vela de ignição” (PEREIRA,2006).



Figura 21: Processo de geração de energia elétrica através do biogás.

Fonte: Adaptado de João Wagner Alves, 2010. Disponível em

<http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/994/a-energia-que-vem-do-lixo.html>

A geração de energia elétrica a partir do biogás apresenta algumas vantagens como a utilização de um combustível renovável de baixo custo (resíduo de processo), com menor emissão de poluentes e balanço de carbono negativo, além da possibilidade de geração descentralizada próxima aos pontos de distribuição, diminuindo custos e perdas na transmissão.

Embora o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) tente estabelecer um método universal adequado para estimar o potencial de geração de gás de aterro, vários países utilizam métodos diferentes para coleta e reporte devido a falta de validação dos modelos. Todos os métodos de estimativa de geração de gás de aterro contêm incertezas, pois descrevem em termos simples complexas reações que ocorrem durante a decomposição anaeróbica (THOMPSON, 2009).

Segundo informações que constam no Diagnóstico de Resíduos Sólidos Urbanos de 2012 (IPEA, 2012), foi realizado pela Arcadis Tetraplan, encomendado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), um estudo que estimou, para 56 localidades brasileiras, o potencial de produção de energia considerando a vazão de biogás no decênio 2010-2020. O resultado demonstra que com esta energia gerada seria capaz de abastecer 5,6 milhões de habitantes e equivale praticamente à cidade do Rio de Janeiro, através de uma capacidade instalada de geração de 311MW, representando o potencial do combustível renovável biogás, subproduto do gerenciamento de resíduos.

Segundo o Atlas de Bioenergia do Brasil (CENBIO, 2012), somente para o Estado de São Paulo, estima-se um potencial de geração de energia elétrica por volta de 2.182 MWh/dia e capacidade instalada de 96MW, através de uma emissão de 364.077.479 m³ de metano.

A Figura 22 apresenta uma estimativa realizada pelo CENBIO (2012) do potencial de geração de energia a partir do biogás proveniente da disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários no Brasil.

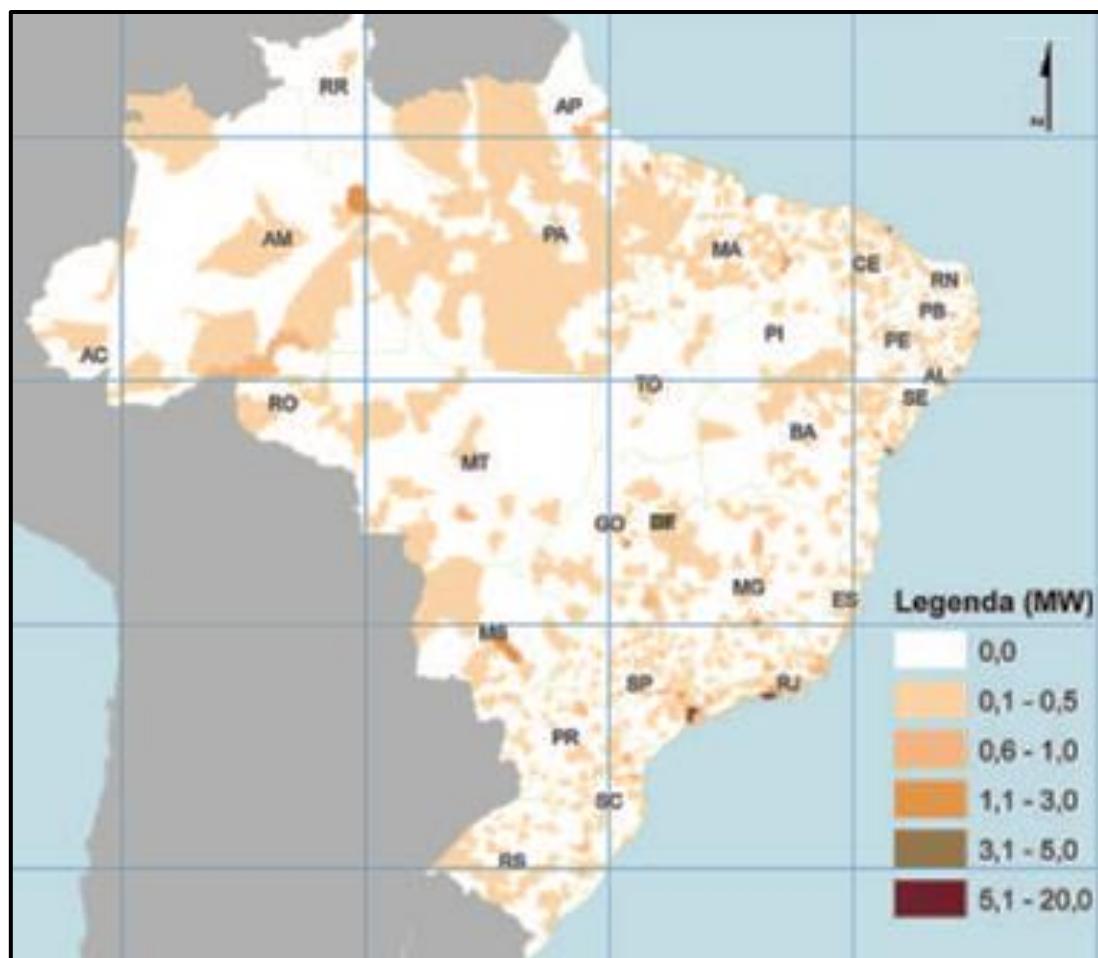


Figura 22: Estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás (fração metano) proveniente da disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários no Brasil

Fonte: Atlas de Bioenergia do Brasil – CENBIO, 2012

3.6 Custo Ambiental

O meio ambiente, ao interagir com todas as atividades humanas, é modificado continuamente por essas atividades. A variável econômica está sempre presente nesta interação, pois a implantação de novas leis, as demandas e as pressões de consumidores ou a própria consciência dos empresários constituem-se em fatores que forçam uma nova postura e novas regras de conduta no tocante às atividades industriais, com repercussões sobre os custos de produção (MOURA, 2011).

Um dos maiores problemas constatados ao se estudar economia ambiental é a dificuldade em se estabelecer valor para um bem ambiental (qualidade do ar, da água e dos recursos naturais, por exemplo). A maioria destes bens não é comprada ou vendida no mercado e, com frequência, as próprias pessoas não querem que seja atribuído valor, ou seja, poucos aceitam pagar pela qualidade de vida, embora todos

queiram uma elevada qualidade. Hoje, entretanto, há uma tendência a uma maior realização de discussões e ao desenvolvimento de técnicas que possam avaliar, de forma confiável, o preço desses bens naturais, como é o caso da água, com valores que serão estabelecidos pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, em função de sua escassez na bacia (MOURA, 2011).

Segundo Pearce, citado por Moura (2011) o valor dos bens ambientais pode ser classificado em três categorias:

- a) **Valor de uso:** refere-se ao preço dos recursos naturais como os minérios, madeira de uma floresta, água (sua retirada, em alguns locais já é cobrada), alimentos (peixes, frutos, fibras vegetais), animais para caça, ativos da biodiversidade (usados na produção de cosméticos, medicamentos, por exemplo), produtos agrícolas em geral, entre outros. Esses valores também são referidos como sendo de “uso direto”. O valor como “uso indireto” seria, por exemplo, o valor como uso recreacional (um lago para esportes aquáticos, natação, pesca de lazer, passeios pelas margens visando um bem estar, etc.), o valor como receptáculo de efluentes e outros resíduos, o valor de uma floresta no tocante à reciclagem do CO₂ (sequestro de carbono) e como fonte de nutrientes para o solo, controle de erosão, ações de regulação sobre o clima e outros efeitos ecológicos.
- b) **Valor de opção:** refere-se à preservação do bem ambiental para uso no futuro, de forma direta ou indireta, ou seja, um uso potencial. Trata-se de um valor de não-uso do recurso no presente, essa escolha permitindo prever um ganho futuro. Valem os mesmos exemplos do “valor de uso”, lembrando-se que compreende preservar esses bens para um uso futuro.
- c) **Valor de existência:** refere-se a um valor normalmente intangível, ou seja, percebe-se que ele existe, porém é de difícil mensuração. Trata-se, por exemplo, da satisfação em se saber da existência de uma floresta preservada (por exemplo, a Amazônia ou a Mata Atlântica), de uma determinada espécie protegida (por exemplo, as baleias, o mico leão dourado), embora as pessoas nunca pretendam usufruir daquele bem ambiental, nem hoje nem no futuro.

O crescimento do uso da biomassa na produção de energia tem como fator limitante o enfoque meramente econômico, segundo o qual o custo dos combustíveis fósseis é bem menor. A inclusão, nesta avaliação, de fatores associados ao aquecimento global e geração de empregos principalmente nos países não

desenvolvidos, por exemplo, altera a comparação em favor da biomassa. Contra seu uso há, no entanto, outro argumento bastante debatido que é o fato desta concorrer com a produção de alimentos, tanto física, como economicamente (REIS, 2011).

Quanto ao fator negativo do uso da biomassa na produção de energia citado por Reis, o qual esta fonte concorre com a produção de alimentos, este não se aplica quando discutimos especificamente a utilização dos resíduos sólidos como combustível (ou no caso do combustível ser gerado através destes resíduos, como o biogás de aterro). Este argumento não deve ser considerado porque não há a substituição ou a priorização de áreas de plantio de alimentos para se produzir esta biomassa em questão. Como já abordado neste trabalho, há uma intensa discussão a respeito do crescimento de áreas disponíveis para o desenvolvimento de culturas a fim de se obter biomassa, etanol, biodiesel e demais combustíveis, em detrimento do cultivo de alimentos.

No caso da utilização do biogás de aterro na geração de energia, há apenas uma melhor qualificação no uso desta área, que já está sendo utilizada para a destinação dos resíduos sólidos urbanos, agregando ainda mais valor à área utilizada.

4. Resultados e Discussões

Primeiramente, torna-se necessária uma melhora significativa na qualidade das informações existentes atualmente sobre geração, coleta e destinação de resíduos sólidos. Dada a dificuldade encontrada na obtenção dos dados, ressalta-se a preocupação referente à confiabilidade da informação utilizada como referência neste estudo. Foram preferencialmente utilizadas as informações da ABRELPE no que se refere aos resíduos sólidos pois estas se mostraram mais consistentes, mesmo sendo uma associação de empresas do setor. Mesmo órgãos nacionais apresentaram resultados discrepantes quanto à geração de resíduos. Quando disponíveis e passíveis de aplicação, foram utilizados dados da CETESB, que apresenta maior coerência nas informações publicadas.

4.1 Metodologia de determinação do potencial de biogás

Para efeito de se obter uma estimativa do potencial de geração de biogás em aterros sanitários, a metodologia mais utilizada é a sugerida pelo IPCC (1996), citado por Alves (2000), apresentada na equação 1:

$$\text{Metano produzido (kg/ano)} = \text{Pop}_{\text{urb}} \times \text{taxa RSU} \times \text{RSUf} \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{CODf} \times F \times \frac{16}{12} \quad (1)$$

Onde:

Pop_{urb} = população urbana (habitantes) – (dados do IBGE, 2012)

Taxa RSU = taxa de geração de resíduos sólidos por habitante, por ano (Kg)

RSUf = fração de resíduos sólidos urbanos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos (%). Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios – PNAD (IBGE, 2006) citada no Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (CETESB, 2006), 85% da população é atendida por serviços de coleta de lixo.

FCM =	fator de correção de metano
COD =	fração de carbono orgânico degradável no lixo ($\sum (DOC_i \times W_i)$) – calculado de acordo com a composição dos resíduos e a fração de carbono orgânico para cada tipo de resíduos (IPCC, 2006)
COD _F =	fração do COD que pode se decompor = 0,77 (CENBIO, 2012)
F =	quantidade de CH ₄ presente no biogás no aterro sanitário = 50% (CENBIO, 2012)
$^{16}/_{12}$ =	conversão de carbono para metano

A respeito do Fator de Correção de Metano (MCF ou FCM), o método do IPCC determina valores de acordo com a profundidade do aterro, ou seja, do local de disposição de resíduos sólidos. Quando o depósito de resíduos não é classificado ou não há informações disponíveis, como é utilizado ao analisar o Brasil de uma forma geral, é adotado o valor de 60%, ou 0,6, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Características do Local de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos

Características do Local de Disposição de MSW	MCF
Aterro sanitário	1,0
Local não gerenciado com profundidade igual ou superior a 5m	0,8
Local não gerenciado com menos de 5m de profundidade	0,4
Depósito não classificado	0,6

Fonte: IPCC, citado no Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo.

Nota: Na tabela é utilizada a terminologia “MSW” (*Municipal Solid Waste*), que significa Resíduos Sólidos Urbanos

4.2 Estimativa da geração anual de metano

A fim de se ilustrar os ganhos ambientais provenientes da queima do biogás gerado em aterros sanitários, foram analisadas 5 situações. São elas:

Situação 1: Geração anual de metano sendo considerada a quantidade de RSU gerada em todo o Brasil, adotando $RSU_f = 85\%$.

Situação 2: Geração anual de metano sendo considerada a quantidade de RSU coletada em todo o Brasil e destinada adequadamente.

Situação 3: Geração anual de metano sendo considerada a quantidade de RSU gerada no Estado de São Paulo, adotando que 85% destes resíduos são destinados para locais de disposição de resíduos.

Situação 4: Geração anual de metano sendo considerada a quantidade de RSU coletada no Estado de São Paulo e destinada adequadamente.

Situação 5: Geração anual de metano sendo considerada a quantidade de RSU coletada no Estado de São Paulo e enviada para aterros sanitários e lixões.

Foram realizadas duas análises referentes ao potencial de geração de biogás no Brasil para evidenciar a diferença no resultado se excluía a quantidade de RSU que não é coletada, tendo como base os dados da ABRELPE e do IBGE, referentes ao ano de 2012. Na situação 2, além de considerar apenas a quantidade coletada, foi adotado um $RSU_f = 0,586$, considerando a quantidade de RSU destinada adequadamente (58,6%), segundo ABRELPE, 2012 .

Nas Situações 3 e 4 foram realizadas as mesmas análises propostas nas Situações 1 e 2, respectivamente, para o Estado de São Paulo. Ressalta-se que novamente há uma diferença nos valores do RSU_f , sendo adotado na Situação 3 o valor de 0,763, considerando que 76,3% dos resíduos coletados no Estado foram enviados para aterros sanitários, conforme apresentado na Figura 10.

Na Situação 5, referente ao Estado de São Paulo, foi considerada a quantidade de RSU coletada no Estado de São Paulo. Porém, o RSU_f adotado levou em consideração a quantidade RSU enviada para aterros sanitários somada ao montante encaminhado para lixões. Considerando que a PNRS determinou que os lixões sejam extintos até o mês de agosto de 2014, esta situação foi desenvolvida para simular um

cenário sem os lixões, onde os resíduos destinados para estes vazadouros (no ano de 2012, segundo a ABRELPE) foram então encaminhados para aterros sanitários.

Situação 1 – RSU gerado no Brasil – ano 2012

Metano produzido = $199.242.462 \text{ hab} \times 383,2 \times 0,85 \times 0,6 \times 0,12 \times 0,77 \times 0,5 \times 10^{-12}$

Metano produzido: 2.398.596.538,04 Kg/ano

Situação 2 – RSU coletado no Brasil e que foi destinada para aterros sanitários – ano 2012

Metano produzido = $199.242.462 \text{ hab} \times 348,5 \times 0,586 \times 0,6 \times 0,12 \times 0,77 \times 0,5 \times 10^{-12}$

Metano produzido: 1.503.879.969,29 Kg/ano

Situação 3 – RSU gerado no Estado de São Paulo – ano 2012

Sendo considerada quantidade coletada de RSU no Estado de São Paulo, considerando a quantidade destinada adequadamente.

Metano produzido = $40.177.103 \text{ hab} \times 514,3 \times 0,85 \times 0,6 \times 0,12 \times 0,77 \times 0,5 \times 10^{-12}$

Metano produzido: 649.130.893,34 Kg/ano

Situação 4 – RSU coletado no Estado de São Paulo e enviado para aterros sanitários – ano 2012

Sendo considerada quantidade coletada de RSU no Estado de São Paulo, considerando a quantidade destinada adequadamente.

Metano produzido = $40.177.103 \text{ hab} \times 508,5 \times 0,763 \times 0,6 \times 0,12 \times 0,77 \times 0,5 \times 10^{-12}$

Metano produzido: 576.073.654,38 Kg/ano

Situação 5 – RSU coletado no Estado de São Paulo e enviado para aterros sanitários e lixões – ano 2012

Sendo considerada quantidade coletada de RSU no Estado de São Paulo, considerando a quantidade destinada adequadamente.

Metano produzido = $40.177.103 \text{ hab} \times 508,5 \times 0,85 \times 0,6 \times 0,12 \times 0,77 \times 0,5 \times 10^{-12}$

Metano produzido: 641.759.641,18 Kg/ano

A Tabela 6 consolida os cálculos realizados nas situações de 1 a 5, bem como, seus respectivos resultados.

Tabela 6 – Resumo dos cálculos apresentados de estimativa de geração de metano

	Pop urb	taxa RSU	RSUf	FCM	COD	CODf	F	16/12	t CH ₄ /ano
Situação 1	199.242.462	383,2	0,85	0,6	0,12	0,77	0,5	1,33	2.398.597
Situação 2	199.242.462	348,5	0,59	0,6	0,12	0,77	0,5	1,33	1.503.880
Situação 3	40.177.103	514,285	0,85	0,6	0,12	0,77	0,5	1,33	649.131
Situação 4	40.177.103	508,445	0,76	0,6	0,12	0,77	0,5	1,33	576.074
Situação 5	40.177.103	508,445	0,85	0,6	0,12	0,77	0,5	1,33	641.760

4.3 Cálculo do CO₂ Equivalente para as emissões evitadas de metano

Utiliza-se para medir o benefício ambiental de uma determinada ação, principalmente relativo ao seu potencial de aquecimento global, a referência denominada CO₂Eq. (dióxido de carbono equivalente). O CO₂Eq é medido através da multiplicação da quantidade emitida de um determinado gás pelo seu potencial de aquecimento global. Como abordado anteriormente, o metano tem um potencial poluidor (GWP – *Global Warning Potential*) 21 vezes maior do que o dióxido de carbono.

$$\text{Quantidade emitida de metano} \times \text{potencial de aquecimento global} \quad (2)$$

Portanto, ao utilizar na Equação 2 a quantidade levantada nas Situações de 1 a 5, pode-se concluir que a atividade de queima do biogás de aterro sanitário para a geração de energia elétrica tem o potencial de evitar a emissão anual de:

Tabela 7 – CO₂ Eq. referente às emissões de metano nas Situações de 1 a 5

	t CH ₄ /ano	GWP Metano	t CO ₂ Eq.
Situação 1	2.398.597	21	50.370.527
Situação 2	1.503.880	21	31.581.479
Situação 3	649.131	21	13.631.749
Situação 4	576.074	21	12.097.547
Situação 5	641.760	21	13.476.952

4.4 Análise sobre as cinco situações propostas

A estimativa realizada na Situação 1 evidenciou o potencial de gerar 2.398.596,54 toneladas de metano na decomposição de RSU no ano de 2012, e que poderiam deixar de ser liberadas para a atmosfera caso utilizadas na geração de energia elétrica, considerando que 85% da quantidade gerada no país é depositada em locais de disposição de resíduos. A situação 2 busca tornar esta estimativa um pouco mais compatível com a realidade brasileira, conforme parâmetros estabelecidos no Capítulo 4.2., reduzindo o potencial de geração de metano para 1.503.879,97 toneladas anual.

Foram realizadas estas duas situações para o cenário nacional visando destacar que o potencial de evitar as emissões de metano através da geração de energia é aproximadamente 37% menor porque o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil é realizado insatisfatoriamente.

Realizou-se esta mesma análise para o Estado de São Paulo, visto que para este Estado há uma maior quantidade de informações referente ao manejo de RSU, resultado dos avanços realizados pela CETESB no setor, possibilitando uma análise mais precisa referente às emissões de metano. Com os mesmos parâmetros aplicados na Situação 1, estimou-se para São Paulo um potencial de geração anual de 649.130,89 toneladas de metano. Utilizando apenas quantidade coletada de resíduos e que é depositada em aterros sanitários e possibilita a captação do gás, a produção anual estimada foi de 576.073,65. Se comparados os resultados, é possível observar diferenças entre as análises nacional e estadual. Em São Paulo, a análise realizada através de parâmetros próximos à realidade atual demonstrou um potencial estimado de geração de metano aproximadamente 11% menor à primeira estimativa. Este fato evidencia que um eficaz gerenciamento de RSU contribui para a redução da emissão de metano.

Considerando que a PNRS determinou o fechamento dos lixões até 2014, a Situação 5 foi realizada para mostrar o potencial de emissões evitadas de metano através da simulação de um cenário onde o montante enviado para lixões seja, em vez disso, enviado para aterros sanitários. Aplicado este cenário, observou-se um aumento anual de 65.685,99 toneladas evitadas de metano.

5. Conclusão

Inicialmente, ao analisar os dados sobre a coleta de resíduos sólidos por todo o território nacional, é fácil perceber que o país avança no que se refere à coleta adequada de resíduos. Há avanços em todas as regiões, sendo que apenas na região Norte o índice de resíduo sólido coletado por habitante em 2012 não foi superior ao ano anterior, sendo que, houve aumento na quantidade coletada, porém, esta não foi superior ao crescimento populacional.

Se houve um avanço na quantidade de RSU coletado, não se pode dizer o mesmo sobre a destinação adequada destes resíduos. Pouco se alterou a distribuição do montante coletado entre aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Já sobre a coleta seletiva, embora atualmente haja maior contribuição da população e os quadros apresentem números extremamente animadores, a realidade não é exatamente assim. A pesquisa realizada pela ABRELPE apresenta uma relação de municípios onde há iniciativas de coleta seletiva, mas não há nenhuma análise referente à qualidade destas iniciativas, portanto, não é possível mensurar a real situação quanto à coleta seletiva. No município de São Paulo, por exemplo, é possível identificar algumas iniciativas; há o cadastramento de cooperativas junto à Prefeitura, porém esta medida está distante de atender todo o município.

Ainda assim, estes avanços são pequenos frente ao que se busca alcançar com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

É evidente a necessidade de implementar uma estratégia mais eficiente, que produza resultados mais expressivos, com maior aproveitamento dos recursos presentes no montante atualmente descartado, visando otimizar os processos e fazer melhor proveito dos investimentos que, como já analisado, são escassos, ou no mínimo insuficientes.

Dentro deste contexto, além de diversas alternativas, está inserida a utilização do biogás para geração de energia, seja elétrica ou térmica. Está é uma medida que, embora exija um investimento inicial considerável, trará sustentabilidade ao processo de destinação do lixo e ainda assim gerará recursos financeiros.

Pode-se afirmar que a utilização do biogás de aterro sanitário depende de uma coleta adequada e eficiente de resíduos, aumentando a quantidade coletada e permitindo que este montante não seja desperdiçado em lixões ou em aterros controlados, que não possuem características adequadas para a implementação de projetos que utilizem o biogás ali gerado. Analisando inversamente este processo, se não podemos considerar que um sistema eficiente de coleta e destinação de resíduos depende da implementação de projetos que utilizam estes resíduos após a coleta, ao

menos é possível identificar que a adoção de medidas para a utilização dos resíduos após a destinação estimulam a coleta eficiente. Além de atrair investidores para o setor e transformar o aterro sanitário em um negócio mais atrativo do que apenas ser recompensado para acomodar adequadamente os resíduos provenientes dos centros urbanos, estas medidas servem como ferramentas importantes no processo de conscientização e educação da população a gerar menos resíduos, contribuir com a coleta seletiva e etc. Além do que foi exposto, através da criação de incentivos por parte do poder público, mecanismos podem ser criados para estimular investimentos no setor e definir que parte da renda obtida através da venda de energia seja investida nos serviços de coleta, que hoje é inferior a R\$ 12,00/per capita/mês no Brasil, investimento insuficiente para atender às exigências da PNRS. Inclusive, como instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, está prevista a utilização de incentivos fiscais, financeiros e creditícios, mais precisamente através de seu 8º Artigo.

Em se tratando de sustentabilidade, é difícil imaginar um ciclo onde há extração de recursos naturais e matérias primas, a fabricação de um produto e depois o seu descarte, sem a criação de mecanismos visando a redução na extração destes recursos, que visem a produção mais limpa e que minimizem os rejeitos.

Com a crescente produção de resíduos sólidos urbanos, aumenta também a produção do gás metano nos aterros sanitários, gás com alto potencial de aquecimento global. Este gás costumava ser queimado nos aterros nos chamados *flares*, sendo transformando em dióxido de carbono para diminuir seu impacto ambiental. Porém, este gás pode ser utilizado na geração de energia elétrica ou térmica, podendo ser utilizado para consumo no próprio aterro, vendido para empresas próximas ou exportando energia elétrica à rede.

Este estudo mostrou que o Brasil possui um potencial de reduzir a emissão de 2.398.596,54 toneladas anuais de metano, adotando a quantidade de RSU gerada no ano de 2012. Como o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil não é eficaz, se considerada a quantidade do RSU que é coletado e encaminhado para aterros sanitários, locais adequados para a captação do metano, esta quantidade de toneladas evitadas de metano diminui aproximadamente 37%.

Com uma geração anual de 62.730.096 (referente ao ano de 2012) toneladas de resíduo, sendo que apenas 32.794.632 destas são destinadas a aterros sanitários, o Brasil tem um enorme potencial a explorar. Segundo estimativas do CENBIO, o Brasil teria combustível através do biogás para gerar 2.182 MW/h, com uma capacidade instalada de 96 MW. Deve-se considerar, no entanto, que devem ser priorizadas as outras etapas do gerenciamento de resíduos definidas na PNRS - não

geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e enfim, a disposição no solo – fatores que têm como um dos objetivos justamente a redução do volume destinado aos aterros.

O fato de o Brasil ter atualmente uma matriz energética basicamente hídrica e ter um enorme potencial para explorar outras fontes limpas e renováveis de energia, diminui a preocupação quanto aos seus impactos ambientais, se comparados aos impactos de alguns países europeus, por exemplo, que geram a sua energia através de combustíveis fósseis. No entanto, com o crescente apelo contra a construção de Usinas Hidrelétricas (UHE's) com grandes reservatórios e também com o lento desenvolvimento de fontes alternativas, o país vem sofrendo com a escassez de chuvas e precisa contar com o auxílio das Usinas Térmicas (UTE's), que foram construídas para dar segurança ao sistema, mas no momento já completaram dois anos em operação contínua para atender à demanda do país em energia elétrica. Além de terem um custo operacional consideravelmente maior do que a geração convencional, estas usinas são consideradas vilãs para o meio ambiente por conta dos significativos impactos ambientais associados à sua operação.

Considerando um acréscimo na capacidade instalada do país ocasionado pela implementação de usinas operadas à biogás em aterros sanitários, o país poderia diminuir a importação de gás natural de países vizinhos. Além de não haver a necessidade de importar o produto, haveria ainda um ganho ambiental considerável na substituição de um combustível fóssil por uma fonte renovável de energia e sem custo de extração, sendo que o biogás necessita apenas ser coletado do aterro sanitário.

Além da utilização do biogás na geração de energia elétrica ou térmica para consumo no próprio aterro, ou também para iluminação da área, ainda pode ser realizada a venda do excedente de energia, com a viabilidade sendo diretamente afetada pela tarifa e pelo preço de venda desta energia à concessionária local. Mecanismo comum em projetos de utilização do biogás gerado nos aterros, podem ser obtidos e comercializados créditos de carbono, devido às diminuições nas emissões de metano.

Como uma das principais dificuldades está a falta de investimentos no setor, ligada à falta de um mercado consolidado de aproveitamento energético do biogás que demande equipamentos e serviços especializados, que certamente abriria espaço para melhores opções de financiamento que contribuiriam para viabilizar os projetos.

O preço de venda da energia excedente também é um fator que pode inviabilizar projetos. Atualmente há um desconto de aproximadamente 20% na tarifa de energia, o que faz despencar o preço de venda da energia, diminuindo a atratividade dos projetos relacionados à geração de energia elétrica.

Como maneira de viabilizar a implantação de aterros dotados de um sistema de recuperação energética, assim como contribuir para a universalização dos serviços de coleta e destinação adequada de resíduos, existe mecanismos previstos na PNRS, como a gestão compartilhada de resíduos sólidos, na qual os serviços de coleta e destinação dos resíduos sólidos de vários municípios, geralmente pequenos e que não são capazes de realizar investimentos consideráveis neste setor, são realizados de forma única, gerando um ganho de escala que viabiliza a coleta seletiva, a destinação adequada, diminuindo os crimes ambientais, e a geração de energia elétrica através do biogás.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos: Classificação – NBR 10004. São Paulo, 2004;

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2012. São Paulo, 2013;

ALVES, J. W. S. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. São Paulo, 2000.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>;

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Inventário Estadual dos Resíduos Sólidos Domiciliares. Relatório. São Paulo, 2012;

_____ – Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – 2012;

_____ – Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014;

_____ – Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos>. Acessado em Abril de 2014.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Comparação do Desempenho Ambiental de Alternativas para a Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético – 2012;

_____ – Biogás e o Mercado de Crédito de Carbono. 2008;

_____ – Atlas de Bioenergia do Brasil. São Paulo, 2012;

CNM – Confederação Nacional de Municípios. Disponível em <<http://www.cnm.org.br/>>. Acessado em Abril de 2014;

EPE – Empresa de Pesquisa Energética – Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013. Rio de Janeiro, 2013.

_____ – Balanço Energético Nacional 2013. Rio de Janeiro, 2013.

_____ – Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2022. Brasília, 2013.

ESSENCIS – Essencis Soluções Ambientais

ESTRE AMBIENTAL – Cooperlínia do Brasil. Disponível em <http://www.estre.com.br/responsabilidade_socioambiental.php>. Acessado em Maio de 2014;

FILHO, F. E. S. – Estimativa do Aproveitamento Energético do Biogás Gerado por Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. São Paulo, 2013.

FIGUEIREDO, N. J. D. – Utilização de Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica – Estudo de Caso. São Paulo, 2011.

FUJIMOTO, R. K. – Roteiro para Avaliação de Desempenho de Sistemas de Captação de Biogás em Aterros Sanitários: Oportunidades de utilização como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). São Paulo, 2007.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Módulo 6 – Lixo – Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 2: Livro de Trabalho, de 1996.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília, 2012

LOGA – Logística Ambiental de São Paulo. Disponível em <http://www.loga.com.br/>. Acessado em Abril de 2014.;

MOURA, L. A. A. – Economia Ambiental, 2011;

PECORA, V., VELÁZQUEZ S.M.S.T., COELHO S.T. Aproveitamento do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica: Estudo de caso em São Paulo. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/congbioen_pecora.pdf>. Acessado em Março de 2014.

PECORA, V., Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006;

REIS, L. B. – Geração de Energia Elétrica, 2011

Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/>. Acessado em Maio de 2014.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN H.; VIGIL S.A.; Gestión integral de residuos solidos; McGraw-Hill/Interamericana de España S.A., Espanha, 1993. 435p;

UNIVESP – Universidade Virtual do Estado de São Paulo. A Energia que vem do lixo. Disponível em <<http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/994/a-energia-que-vem-do-lixo.html>>. Acessado em Abril de 2014.