

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS
NO SETOR ENERGÉTICO**

PÂMELA ADDOLORATA PINTO

**PROJETO DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO
ORGÂNICO COM GERAÇÃO DE ENERGIA.
ESTUDO DE CASO: BAYER S.A**

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Lucon

**SÃO PAULO
2014**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Pinto, Pâmela Addolorata.

Projeto de aproveitamento de resíduo sólido orgânico com geração de energia. Estudo de caso: Empresa Bayer S.A./ Pâmela Addolorata Pinto; orientador Oswaldo Lucon. – São Paulo, 2014.

76p. il.; 30cm

Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) Instituto de Energia e Ambiente

Universidade de São Paulo.

1. Biogás 2. Resíduo Sólido 3. Energia

Agradecimento

Agradeço a minha estimada família, aos compreensivos amigos, aos meus queridos e pacientes animais de estimação, ao meu prestativo orientador e prof. Oswaldo Lucon e, em especial, ao meu amado companheiro, que me incentivou, apoiou e suportou em todas as fases desse trabalho.

“A lata de lixo é, na verdade, o resumo da vida diurna de uma família. É ela quem diz nas espinhas de peixe e nas cascas de ovos os pratos que houve à mesa. É ela quem informa se lá dentro da sala de jantar se toma vinho ou cerveja, água mineral ou água de torneira. É ela que denuncia, com os pedaços de jornal, as tendências políticas ou sociais do dono da casa, e, com as caixas vazias de remédio que toma a saúde dos moradores do prédio. Cada lata de lixo é, em suma, a crônica doméstica de uma família, deixada à noite na porta da rua”.

(Humberto de Campos Veras, 1934)

RESUMO

PINTO, P.A.;. **Projeto de aproveitamento de resíduo sólido orgânico com geração de energia. Estudo de caso: Empresa Bayer S.A.** 2014. 76 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Este trabalho se propõe a analisar o potencial para a geração de energia dentro nos sites produtivo e não produtivo da empresa Bayer S.A em São Paulo, através do aproveitamento de biogás gerado a partir da biodigestão dos resíduos sólidos orgânicos consumidos em suas duas unidades da cidade. Este material será utilizado para fins de iluminação das áreas externas do site Socorro. A demanda atual nesta unidade por geração de energia mensal é de 274.262,34 KWh. Com relação aos volumes de resíduos orgânicos obtidos na empresa químico-farmacêutica, é possível observar que são gerados diariamente nos restaurantes 407kg de resíduos. Dentro deste volume, 42,5kg são de material reciclável, como copos plásticos e papéis e 364,5kg são de restos orgânicos. Esse montante engloba os dois sites. O restaurante atende a uma demanda de 2100 refeições por dia no Socorro e 500 refeições na unidade da Chácara Santo Antonio. Com funcionamento somente nos dias úteis, são servidas duas refeições por dia: café da manhã e almoço. Além do volume orgânico gerado pelo restaurante, o presente estudo também identifica um volume de 240kg de frutas que diariamente são entregues na empresa e distribuídos entre todos os escritórios e 55kg de borra de café gerados no restaurante e nos andares de cada prédio diariamente. Sendo a finalidade deste estudo a implementação de um processo de aproveitamento deste resíduo com produção de biogás emitido para geração de energia, a empresa deixará de enviar mensalmente 8 toneladas de material orgânico a aterros por mês, o que corresponde a um volume anual de aproximadamente 96 toneladas, material este que pode ser devidamente reaproveitado, diminuindo assim o impacto sobre a emissão de gases causadores do efeito estufa e cumprindo o que exige a Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei 12.305/2010, em vigor a partir de 2014. Assim, espera-se que os resultados deste trabalho contribuam para que a empresa possa tratar os resíduos orgânicos sob sua responsabilidade de forma ambientalmente adequada, com vantagens e benefícios ao meio e a empresa, aproveitando-os para geração de energia a partir do biogás e redução de consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Biogás; Resíduo Sólido; Energia.

ABSTRACT

PINTO, P.A.; **Project of utilization of organic solid waste with energy generation. Case: Bayer S.A Company.** 2014. 76 p. Monograph (Specialization in Environmental Management and Energy Business Sector) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

This study aims to analyze the potential for generating energy within the productive and non-productive sites from Bayer SA in Sao Paulo, through the use of biogas generated from the digestion of organic solid wastes consumed within the company in its two units of the city . This material will be used for lighting of external areas of the site Socorro. The current demand for this unit monthly energy generation is 274,262.34 KWh . With regard to the volume of organic waste obtained in the chemical-pharmaceutical company, it's possible to identify that are generated daily in restaurants 407kg of waste . Within this volume, 42.5 pounds is recyclable material such as paper and plastic cups and 364.5 kg are organic remains. This amount comprises the two sites . The restaurant caters to a demand 2,100 meals a day in Socorro and 500 meals at the Ranch Drive San Antonio. With only run on weekdays , are served two meals a day : breakfast and lunch. In addition to organic volume generated by the restaurant , this study also identifies a volume of 240kg of fruit that are delivered daily in the company and distributed to all offices and 55kg of coffee grounds raised in the restaurant and on the floors of each building daily. Since the aim of this study is to implement a process of using organic waste with the production biogas for power generation output , the company will no longer send monthly 8 tonnes of organic materials to landfill per month , which corresponds to an annual volume of approximately 96 tonnes, as these material can be properly reused , thus reducing the impact on the emission of gases causing the greenhouse effect and fulfilling the demands that the National Policy on Solid Waste 12.305/2010 law , in force from 2014 . Therefore expected is that the results of this study contribute to the company to treat organic waste under its responsibility in an environmentally sound manner, with advantages and benefits to the company and taking advantage of them for power generation from biogas and reduced consumption electricity.

Keywords: Biogas, Solid waste; Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a fonte geradora.....	16
Figura 3.1 – Comparação entre a geração de RSU (t/ano).....	21
Figura 3.2 - Mapa do consumo de RSU no mundo (kg per capita/dia).....	32
Figura 4 – Esquema das etapas do processo de digestão anaeróbica.....	46
Figura 4.1 – Modelos de biodigestores utilizados em comunidades rurais.....	48
Figura 4.2 – Esquema típico de um biodigestor com membrana de borracha.....	49
Figura 5 – Mapa de localização da empresa Bayer S.A - unidade Socorro no Estado de São Paulo.....	55
Figura 5.1 - Mapa de localização da empresa Bayer S.A - unidade Chácara Santo Antonio no Estado de São Paulo.....	55
Figura 5.2 – Vista aérea da parte da unidade Socorro, com detalhe para área de instalação de biodigestor.....	56
Figura 5.3 – Biodigestor chinês.....	59
Figura 6 – Exemplo da evolução da temperatura em leira de compostagem.....	74
Figura 6.1 – Fluxo do processo le leira estática aerada.....	76
Figura 6.2 – Sistema de compostagem em leira estática aerada.....	76
Gráfico 3 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, 2012 (%).....	19
Gráfico 3.1 – Volume da coleta de Resíduo Sólido Urbano no Brasil em 2012 (%/dia).....	22
Gráfico 3.2 – Segmentação do volume de Resíduo Sólido Urbano coletado no Brasil (%).....	23
Gráfico 3.3 - Destinação final de RSU (t/dia).....	24
Gráfico 3.4 – Valores médios por hab/ano aplicado na coleta de RSU e demais Serviços de Limpeza Urbana(%).....	26
Gráfico 3.5 – Distribuição dos municípios com coleta seletiva (%).....	27
Gráfico 3.6 – Disposição mundial de RSU (milhões ton/ano).....	28
Gráfico 4 – Oferta de energia elétrica por fonte no Brasil.....	40

Gráfico 5 – Volume de cada resíduo sólido orgânico (%/dia).....	54
Gráfico 5.1 - Composição RSU Bayer – unidade Socorro 2014 (%).....	57
Gráfico 5.2 - Composição RSU Bayer – unidade Chácara Santo Antonio 2014 (%).....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 3 - Comparação entre a quantidade de RSU gerada (t/dia).....	20
Tabela 3.1 - Índice per capita da coleta de RSU (kg/hab./dia).....	21
Tabela 3.2 – Comparativo da coletada de RSU no Brasil em 2012 (t/dia).....	22
Tabela 3.3 – Adequação da destinação final de RSU (% t/ano).....	24
Tabela 3.4 - Quantidade de municípios por tipo de destinação.....	25
Tabela 3.5 - Recursos aplicados na coleta de RSU (milhões/ano).....	26
Tabela 3.6 – Tipo de resíduo por nível econômico dos países (%).....	28
Tabela 3.7 – Tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos.....	31
Tabela 3.8 - Histórico das Legislações sobre Resíduos Sólidos no Brasil.....	36
Tabela 4 – Principais gases do efeito estufa.....	38
Tabela 4.1 – Oferta e demanda total de energia ao longo dos anos (tep).....	42
Tabela 4.2 – Composição típica do biogás.....	44
Tabela 5 – Consumo de material orgânico dentro dos restaurantes e escritórios das duas unidades da empresa.....	54
Tabela 5.1 – Volume de RSU gerado na empresa (média de jan2014/ kg).....	57
Tabela 5.2 - Valores para fator de correção de metano.....	58
Tabela 5.3.1 Tabela de Resíduo orgânico descartado.....	58
Tabela 5.3 - Teor de carbono orgânico degradável para cada componente do lixo.....	60

LISTA DE SIGLAS

WHO	WORLD HEALTH ORGANIZATION
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
ABRELPE	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
NBR	NORMA BRASILEIRA
RSU	RESÍDUO SÓLIDO URBANO
PCI	PODER CALORIFICO INFERIOR
PH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
IPEA	INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA
MDL	MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO
PNRS	POLITICA NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
STV	SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS
OCDE	ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONOMICO
EPA	ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
3 R's	REDUZIR, RECICLAR E REUTILIZAR
ISWA	INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION
CO ₂	DIÓXIDO DE CARBONO
GEE	GÁS DE EFEITO ESTUFA
ICLEI	INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES
CH ₄	METANO
N ₂ O	ÓXIDO NITROSO
CFCs	CLOROFLUORCARBONOS

HFCs	HIDROFLUORCARBONOS
PFCs	PERFLUORCARBONOS
SF ₆	HEXAFLUORETO DE ENXOFRE
PNUMA	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA MEIO AMBIENTE
IEA	INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
RCE	REDUÇÃO CERTIFICADA DE EMISSÃO
COD	CARBONO ORGÂNICO DEGRADÁVEL
CO _{2eq}	CARBONO EQUIVALENTE
CEMPRE	COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM
CETEA	CENTRO DE TECNOLOGIAS DE EMBALAGENS
BEN	BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
%/dia	porcentagem por dia
t/ano	tonelada por ano
kg	quilograma
mm	milímetro
<	menor
Kg/hab/dia	quilograma por habitante por dia
t	tonelada
Hab/ano	habitante por ano
kg <i>per capita</i> /dia	quilograma <i>per capita</i> por dia
t/ dia	tonelada por dia
MWh	megawatt-hora
Tep	tonelada equivalente de petróleo
MW	megawatt
Km	quilômetro
HP	cavalo de potencia
mm	milímetro
kW	quilowatt
MWano	megawatt por ano

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	10
1.1 Objetivo.....	10
2. ESTRUTURA DO ESTUDO.....	13
3. RESÍDUO SÓLIDO	14
a) Definições	14
b) Resíduo Sólido Urbano	17
c) Resíduo Sólido no âmbito mundial	27
d) Resíduo Sólido Orgânico	32
e) Política Nacional de Resíduos Sólidos	33
4. O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO	38
4.1 Biogás.....	43
4.2 Produção do biogás via digestão anaeróbia.....	46
4.3 Biodigestor.....	47
5. ESTUDO DE CASO.....	50
5.1 A empresa Bayer S.A.....	50
5.2 Análise de Viabilidade.....	53
5.3 Metodologia.....	56
CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	66
ANEXOS.....	73

1. APRESENTAÇÃO

1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo é analisar a implementação de um processo de biodigestão anaeróbia com produção de biogás para aproveitamento energético pela empresa Bayer S.A.

Ao longo dos últimos anos, o número da população na Terra tem aumentado consideravelmente. Em 2014 já ultrapassamos a marca de 7.2 bilhões de habitantes no planeta, sendo que deste total 2,4 bilhões de pessoas ainda não terão acesso a saneamento básico adequado em 2015 (WHO, 2012). Os dados se concretizam como altamente alarmantes quando comparamos que existam 6 bilhões de telefones celulares no mundo, exemplo do consumo excessivo e do descaso com a saúde e o meio ambiente.

Com este elevado índice de consumo em nossa sociedade, a efemeridade e durabilidade dos produtos, as facilidades de acesso a bens, o constante avanço tecnológico e a falta de conscientização ambiental estamos gerando cada vez mais resíduos e a nossa responsabilidade com sua disposição correta e tratamento não estão acompanhando essa velocidade. As empresas responsáveis por serviços de gestão e disposição de resíduos também vem enfrentado grandes dificuldades diante deste cenário, pois têm lidado com o gerenciamento de volumes cada vez maiores e variados de resíduos.

A qualidade do serviço de limpeza urbana na sociedade é um importante indicador a respeito do perfil de administração pública e da qualidade de vida local. A partir de uma análise da geração, coleta e descarte de resíduos consegue-se traçar um perfil do modo de vida das pessoas (ABRELPE, 2012).

Todas as intervenções do homem geram uma preocupação no cenário ambiental, uma vez que sempre descartamos no meio ambiente alguma forma de resíduo. Seja através de obras de infraestrutura nas cidades, seja pela substituição da vegetação nativa por terras cultiváveis para alimentação ou ainda pela busca por matéria-prima na natureza para produção e consumo, temos como resultados desses processos quantidades expressivas de sobras que precisam ter a destinação final ambientalmente correta. Além do desafio ambiental, os

impactos do lixo estão aliados à ordem econômica e social: problemas de saúde pública, moradia, transporte e empregos estão relacionados à forma com que dispomos nossos resíduos e rejeitos diariamente.

Positivamente, a crescente preocupação ambiental das últimas décadas promoveu um cenário de questionamentos sobre a exploração dos recursos naturais renováveis e principalmente não renováveis. A preocupação não se limita a exploração final do recurso, mas também a seus impactos sobre o meio.

Com o limite da capacidade dos aterros quase esgotados e a preocupação com desenvolvimento sustentável, explorar o ciclo de vida dos produtos até o final de sua vida útil e garantir sua destinação apropriada, além de ajudar na redução do lixo gerado, passa a ser uma obrigação com a nova LEI 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Capítulo II, Art. 3º - XV. A partir de 2014, os aterros sanitários não poderão mais receber resíduos, apenas rejeitos, ou seja,

[...] 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.

Além disso, as prefeituras deverão programar a coleta seletiva nas residências e os sistemas de compostagem para reaproveitamento dos restos orgânicos.

Um levantamento da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) indicou um crescimento de 6,8% na geração de resíduo sólido urbano entre os anos de 2009 e 2010, quando foram produzidas 60.868.080 t/ano.

Em 2000, segundo dados do Censo de Saneamento do IBGE, 63,6% dos municípios brasileiros depositavam os resíduos a céu aberto, em lixões. A região Nordeste apresentava o pior índice do país com aproximadamente 40% do total gerado sem coleta, enquanto que para a região Sudeste esse índice era de apenas 9,9%. Do total de resíduos coletados, 41% tiveram destino adequado, 29% foram destinados a aterros, 2% destinados a sistemas de compostagem, 3% incinerados e 5% enviados para usinas de reciclagem.

Diante desta realidade, os principais desafios para a solução dos problemas relacionados com os resíduos sólidos estão relacionados com sua disposição irregular, coleta informal e a insuficiência do sistema de coleta pública, uma vez que nem todo resíduo gerado é coletado e tratado.

Segundo dados da ABRELPE (2012) mais de 50% do volume de resíduo sólido urbano coletado no Brasil é composto por matéria orgânica. Esse resíduo é em grande parte destinado inadequadamente para aterros e lixões, onde misturados com outros resíduos sólidos promove a emissão do biogás. Esse gás é constituído principalmente por metano, um dos gases causadores do efeito estufa, entretanto se coletado, deixa de gerar um impacto ao meio ambiente e pode ser aproveitado para a produção de energia elétrica ou térmica, objeto deste trabalho.

Além disso, a matéria orgânica em decomposição no aterro ou lixão produz o chorume, uma substância líquida resultante da putrefação orgânica que pode contaminar solo, lençol freático, rios e córregos. Em função da grande quantidade de matéria orgânica, também atrai insetos vetores de doenças aos seres humanos.

A utilização de resíduo orgânico para a geração de energia em larga escala traz como benefícios, a segurança energética com a geração descentralizada e pode promover a captação de recursos internacionais decorrentes da possível venda de Certificados de Emissão de Carbono para países Anexo 1, conforme prevê o Protocolo de Quito se as propostas seguirem os Mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL).

O presente trabalho analisa a possibilidade de reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos gerados dentro da empresa Bayer S.A, localizada no bairro do Socorro e Chácara Santo Antonio, São Paulo. O objetivo central é avaliar o potencial de utilização desses resíduos para a compostagem e posterior geração de energia elétrica a ser utilizada internamente pela empresa. Com isso, este trabalho espera contribuir para a destinação correta de um volume total anual aproximado de 115 toneladas de material orgânico.

2. ESTRUTURA DO ESTUDO

Para atingir os objetivos propostos, a monografia está estruturada da seguinte forma:

Os capítulos 1 e 2 apresentam a introdução sobre o assunto da dissertação e sobre a empresa Bayer.

A partir do capítulo 3 são apresentadas as definições dos resíduos sólidos no Brasil e no mundo, resíduos orgânicos e compostagem, dados para análise sobre geração e destinação do RSU no Brasil e uma breve análise da Política Nacional de resíduos Sólidos com suas diretrizes, benefícios, impactos e desafios para a gestão pública e privada e para os cidadãos.

O capítulo 4 traz o cenário energético atual brasileiro, com dados sobre a matriz energética do país e uma análise do biogás como fonte de geração de energia limpa e renovável.

O capítulo 5 analisa a viabilidade do projeto de compostagem e geração de energia, mostrando os dados e volumes das unidades Socorro e Chácara Santo Antonio em relação aos resíduos dos restaurantes da empresa.

O capítulo 6 mostra a metodologia empregada no cálculo da viabilidade do projeto, com análise de metano e biogás gerados e a estimativa da potencia e energia disponível de acordo com os volumes de resíduos gerados na Bayer.

O ultimo tópico é faz a conclusão do trabalho, apresentando os resultados finais consolidados, suas características, análises e a possibilidade de implementação do projeto.

3. RESÍDUO SÓLIDO

Os resíduos sólidos são um dos maiores problemas que enfrentamos na atualidade, especialmente quando não tratados de forma regular, um dos mais importantes subprodutos do estilo de vida urbano está crescendo ainda mais rápido do que a taxa de urbanização.

Há dez anos atrás, haviam 2,9 bilhões de habitantes urbanos que geraram cerca de 0,64 kg de resíduos sólidos urbanos por pessoa por dia, ou 233,6 milhões de toneladas/ habitante/ ano. Estima-se que em 2025 esse número irá aumentar para 4,3 bilhões de habitantes urbanos, gerando cerca de 1,42 kg / habitante / dia de resíduos sólidos urbanos (World Bank, 2013).

a) Definições:

Conforme definição da ANBT NBR 10.004, 2004:

[...] resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades 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 o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com a periculosidade, esses resíduos podem ser classificados em:

- Resíduos Perigosos (Classe I): são aqueles que por suas características podem apresentar riscos para a sociedade ou para o meio ambiente. São considerados perigosos também os que apresentem uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade. Os resíduos que recebem esta classificação requerem cuidados especiais de destinação, como resíduos industriais e hospitalares.

- Resíduos Não Perigosos (Classe II): não apresentam nenhuma das características acima, como por exemplo: restos de alimentos, sucatas de metais ferrosos e não ferrosos, areia de fundição, resíduo de madeira, borracha, papel, papelão, plástico polimerizado, material têxtil e minerais não-metálicos. Os resíduos não perigosos classe II podem ainda ser classificados em dois subgrupos:

Classe II A – não inertes: são aqueles que geralmente apresentam alguma dessas características: biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, por exemplo: resíduos domésticos.

Classe II B – inertes: resíduos que, segundo a NBR10.004:2004, quando submetidos ao contato dinâmico ou estático com a água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, com exceção da cor, turbidez, dureza e sabor. São exemplos dos resíduos inertes classe II B: tijolos, entulhos, rochas e vidros.

Já para a Lei 12.305/10 os resíduos sólidos são classificados de acordo com sua origem e periculosidade. Em relação à periculosidade são classificados em não perigosos ou perigosos, aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade com riscos a saúde pública ou qualidade ambiental.

Sobre a origem e demais classificações:

[...] resíduos domiciliares, de limpeza urbana, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, industriais, de serviços da saúde, da construção civil e de mineração. Além da classificação quanto à origem podem ser feitas distinções entre os resíduos úmidos e secos, orgânicos e inorgânicos e perigosos e não perigosos. Dentro destas definições, entende-se que resíduos sólidos orgânicos que tem classificação A001 é todo resíduo de origem animal ou vegetal, ou seja, que recentemente fez parte de um ser vivo, como por exemplo: frutas, hortaliças, restos de pescados, folhas, sementes, cascas de ovos, restos de carnes, etc.

Assim, de acordo com a ABNT os resíduos orgânicos gerados pelo consumo interno da Bayer S.A são classificados como Classe II não inertes. Já pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, quanto a periculosidade não são perigosos e são do grupo de resíduo sólido urbano.

Apesar desta classificação, esse tipo de resíduo é considerado poluente se não disposto corretamente e, quando acumulado, pode tornar-se perigoso e mal-cheiroso, devido à decomposição dos restos orgânicos. Se não houver o mínimo cuidado com sua armazenagem, cria-se um ambiente propício ao desenvolvimento de microorganismos que muitas vezes podem ser agentes causadores de doenças.

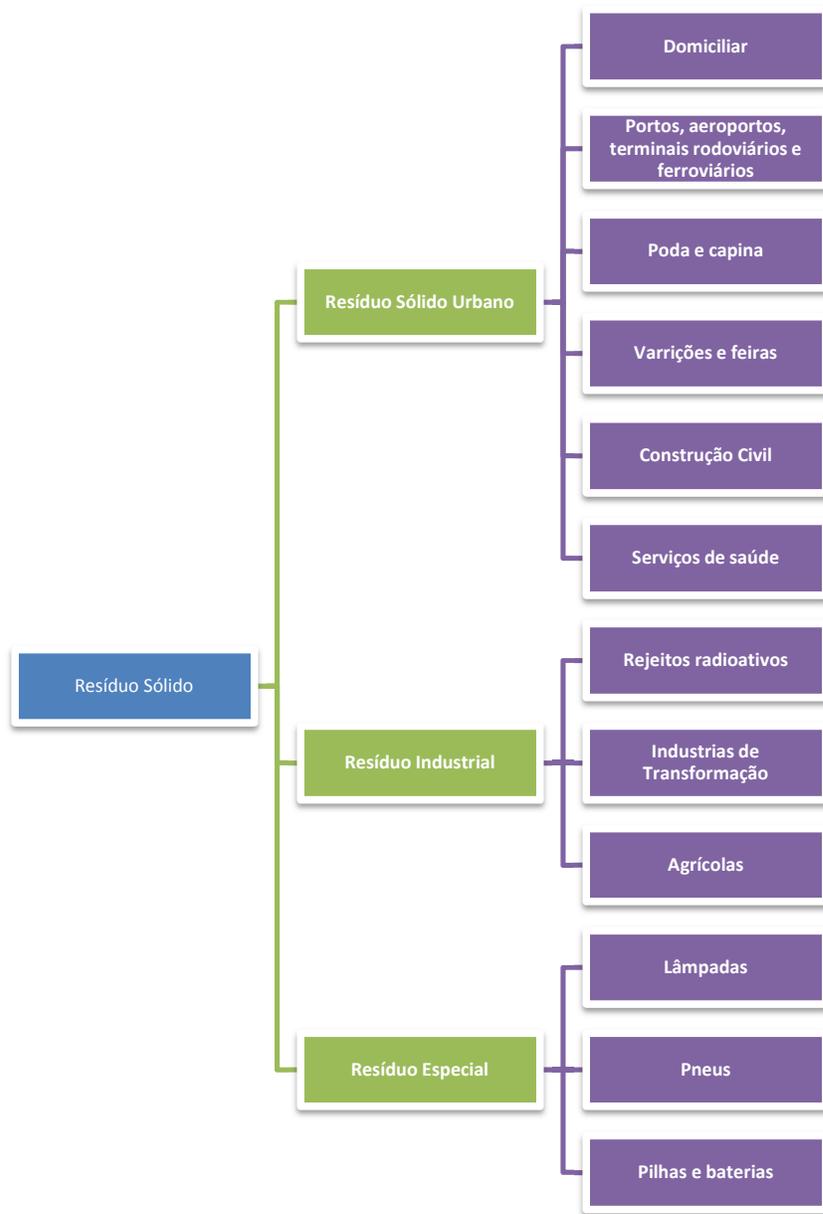


Figura 3 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a fonte geradora

Fonte: ABNT, 2010

Elaboração da autora

b) Resíduo Sólido Urbano

É preciso conhecer a composição e a taxa de geração dos resíduos para que se possa gerenciá-los. Uma atenção especial deve ser dispendida aos resíduos sólidos urbanos, que representam uma grande parcela sobre os demais resíduos gerados mundialmente. Os resíduos sólidos industriais e especiais normalmente são gerados a partir de processos controlados, não apresentando variações em suas características, doravante os resíduos sólidos urbanos (RSU) tem a característica peculiar de ser uma composição heterogênea (SCHALCH *et al.*, 2002, p.11).

Propriedades químicas: Os RSU consistem de frações de diversos tamanhos com propriedades diversas. Muito heterogêneos, são de difícil caracterização química, entretanto esse conhecimento possibilita a seleção de tratamentos e técnicas de disposição final adequada (RIBER *et al.*, 2007). São elas:

- Poder Calorífico inferior: refere-se ao calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis.
- Composição Química: consiste na determinação dos teores de cinzas, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, enxofre, matéria orgânica, resíduo mineral total e resíduo mineral solúvel presentes nos resíduos sólidos urbanos.
- Relação Carbono/Nitrogênio (C/N): indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos RSU nos processos de tratamento e disposição final;
- Potencial Hidrogeniônico (pH): indica o teor de alcalinidade ou acidez da massa de resíduos sólidos urbanos. O pH está relacionado com a velocidade de degradação e estabilização da matéria orgânica nos resíduos.
- Teor de Sólidos Totais Voláteis: pela determinação do teor de sólidos totais voláteis determina-se a percentagem de cinzas e a quantidade de matéria orgânica existente no resíduo sólido. Portanto, esse parâmetro pode ser um indicador da degradabilidade dos

RSU ao longo do tempo. Um alto percentual de sólidos totais voláteis (STV) indica a presença de muita matéria orgânica a ser degradada e baixos valores podem indicar que o resíduo já passou por um processo acentuado de degradação. A determinação dos STV é de suma importância para o acompanhamento das alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas da massa de RSU depositada no aterro (SOARES, 2011).

Propriedades físicas: Segundo SOARES (2011), entre as características físicas dos RSU, destacam-se a análise de:

- Composição gravimétrica: É o estudo da caracterização dos resíduos. Segundo a ABNT- NBR 10.007/2004, a caracterização gravimétrica é: “[...] Determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico”.
- Tamanho das partículas: A grande faixa de variação da distribuição do tamanho das partículas é o resultado da composição variada dos resíduos sólidos urbanos. O tamanho típico das partículas varia entre pedregulho e finos, sendo esta fração com valores menores que 20% (< 0,075mm). O percentual de materiais com granulagem mais fina tende a aumentar com o aumento da idade do RSU, como resultado da biodegradação do material orgânico.
- Grupos de matérias: consiste na separação das amostras de RSU. São eles: metal, papel, plástico, vidro, matéria orgânica, minerais, madeira.
- Morfologia: classificação dos resíduos quanto à sua forma e medida, podendo ser: grãos, fibras, folhas ou volumes.
- Teor de umidade: depende da composição inicial do material, das condições climáticas locais, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica, da capacidade e funcionamento dos sistemas de coleta.

- **Peso específico:** A relação entre o peso e o volume unitário na massa de resíduos representa o peso específico, sendo que seu valor varia de acordo com a etapa considerada. Está diretamente relacionado à sua composição gravimétrica, visto que quanto maior for à quantidade de componentes leves (papel, papelão, plásticos) ou quanto menor for à quantidade de matéria orgânica, menor será seu valor. Em áreas de maior poder aquisitivo, com maior consumo de materiais supérfluos, o peso específico dos RSU é menor, quando comparado às áreas de menor poder aquisitivo com maior descarte de matéria orgânica.
- **Permeabilidade:** A permeabilidade é altamente dependente do grau de compactação, pressão de sobrecarga, idade e composição dos resíduos sólidos urbanos. Portanto, deve ser determinada de caso para caso.
- **Temperatura:** as temperaturas no interior da massa de RSU são de grande importância principalmente no que se refere à atividade de microorganismos que promovem a degradação dos diversos componentes do RSU.

No Brasil, o percentual de matéria orgânica dos RSU varia entre 50 e 60%, típico de países em desenvolvimento. Este alto teor orgânico propicia, entre outros fatores, um elevado teor de umidade aos resíduos. A composição gravimétrica dos RSU tende a se alterar ao longo do tempo em função da deterioração da matéria orgânica.

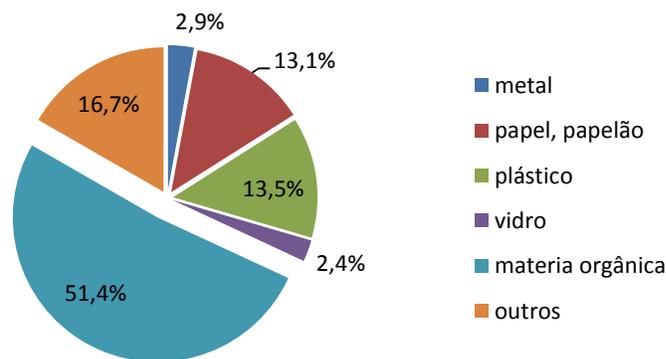


Gráfico 3 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, 2012 (%)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

As características físicas mais relevantes dos RSU são geração *per capita* e composição gravimétrica.

Na geração *per capita* a quantidade de resíduos gerada diariamente ou anualmente é relacionada ao número de habitantes de uma determinada região e está em constante aumento como consequência da sociedade de consumo na qual vivemos. No caso dos resíduos domiciliares, a quantidade de resíduos produzidos está diretamente relacionada com o modo de vida da população.

Segundo dados do IPEA 2013, mais de 54% dos brasileiros ascenderam socialmente entre 2003 e 2011, incorporando 40 milhões de pessoas que passaram a consumir mais na última década, conseqüentemente gerando mais resíduos. A geração diária brasileira de RSU em 2012 foi de 201.058 toneladas de resíduos.

Regiões	RSU gerado por dia	
	2011	2012
Norte	13.658	13.764
Nordeste	50.962	51.689
Centro-Oeste	15.824	16.055
Sudeste	97.293	98.215
Sul	20.777	21.345
Total Brasil	198.514	201.058

Tabela 3 - Comparação entre a quantidade de RSU gerada (t/dia)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Já entre os anos de 2011 e 2012, um estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012) indicou um crescimento de 1,3%, índice este superior a taxa de crescimento populacional urbano do país no mesmo período, que foi de 0,9%, ou seja, produzimos quase 70% mais resíduos do que pessoas nasceram neste ano, conforme pode ser observado na figura 3 abaixo.

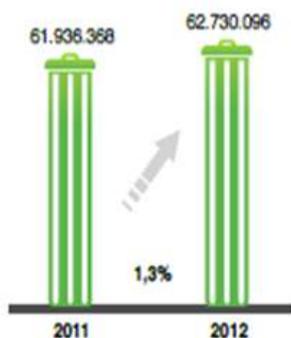


Figura 3.1 – Comparação entre a geração de RSU (t/ano)

Fonte e elaboração: ABRELPE, 2012

O total gerado em 2011 foi 61.936.368 toneladas, enquanto que em 2012 o total registrado foi de 62.730.096 toneladas.

Regiões	RSU <i>per capita</i> (kg/hab./dia)	
	2011	2012
Norte	0,96	0,965
Nordeste	0,998	1,014
Centro-Oeste	1,142	1,153
Sudeste	1,248	1,255
Sul	0,819	0,838

Tabela 3.1 - Índice *per capita* da coleta de RSU (kg/hab./dia)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Neste cenário, nota-se que a geração *per capita* subiu 0,4% sobre o ano anterior. Considerando as regiões brasileiras, o maior consumo *per capita* está concentrado no Sudeste, um consumo 66% maior do que a região menos geradora de resíduos *per capita*, a região Sul.

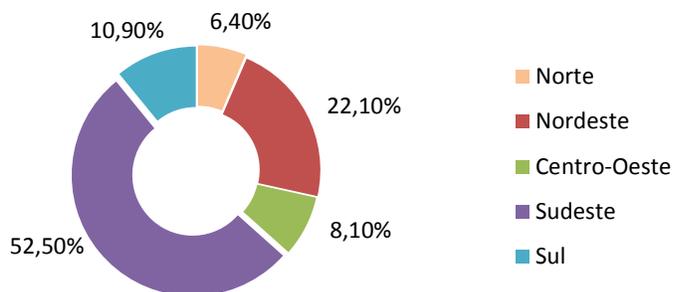


Gráfico 3.1 – Volume da coleta de Resíduo Sólido Urbano no Brasil em 2012 (%/dia)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

O maior volume de RSU coletado está concentrado na região Sudeste, a maior geradora também. Da quantidade total coletada, o Sudeste responde por 52,5% e o Nordeste por 22,1%, as duas regiões juntas estão concentrando mais de 70% de todo o resíduo coletado em território nacional.

O índice de coleta de RSU tem crescido aos poucos nos estados brasileiros, isso indica que a taxa de cobertura desse serviço está aumentando cada vez mais. As regiões Norte e Nordeste apresentam as menores taxas, mas a discrepância do atendimento fica ainda maior quando comparados os domicílios urbanos e rurais. A taxa de cobertura neste segundo representa apenas metade do serviço prestado nas áreas urbanas das regiões Sul e Sudeste, e menos de 30% nas demais. Normalmente nas propriedades rurais os resíduos sólidos são dispostos no próprio domicílio, o lixo orgânico é reaproveitado para alimentar animais ou fertilizar o solo e o restante transformado em utensílio doméstico, entretanto ao longo dos anos o acesso a bens industrializados aumentou nessas regiões também, e assim, a presença de resíduos perigosos, como baterias, lâmpadas e embalagem de produtos químicos que precisam ser dispostos adequadamente para não possibilitarem o risco de contaminação e prejuízos à saúde.

Regiões	RSU coletado por dia	
	2011	2012
Norte	11.360	11.585
Nordeste	39.092	40.021
Centro-Oeste	14.449	14.788
Sudeste	93.911	95.142
Sul	19.183	19.752
Total Brasil	177.995	181.288

Tabela 3.2 – Comparativo da coleta de Resíduo Sólido Urbano no Brasil em 2012 (t/dia)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Somando as cinco regiões do país, em 2012 foram coletadas 181.288 t/dia, um aumento de quase 2% em relação a 2011, quando foram coletados 177.995 t/dia de RSU. Todas as regiões apresentaram aumento durante este período. Entretanto no ano de 2012 deixaram de ser coletadas 6,2 milhões de toneladas de RSU, o que indica um montante de 10% de resíduos que tiveram destino impróprio. Em relação a 2011, esta quantidade mostra-se 3% inferior. Todavia, a comparação deste índice com o crescimento da geração de RSU registra uma

discreta evolução na cobertura dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos. (ABRELPE, 2012).

Para a análise dos resíduos sólidos é importante conhecer sua composição gravimétrica. Esta característica é importante para resíduos bastante heterogêneos, como é o caso dos RSU. A partir da composição gravimétrica do lixo, podem-se elaborar projetos de redução, de segregação na origem e de aproveitamento dos materiais potencialmente recicláveis, além de subsidiar a escolha do tratamento e destinação finais mais adequados aos componentes do lixo.

O gráfico 3.2 abaixo apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, considerando como base a quantidade coletada no ano de 2012. Do total do resíduo urbano, mais de 51% foi composto por matéria orgânica, uma fonte com imenso potencial para reaproveitamento, tanto para geração de energia quanto para a nutrição das plantas.

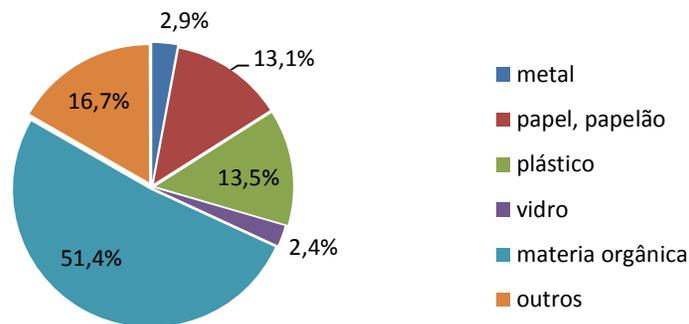


Gráfico 3.2 – Segmentação do volume de Resíduo Sólido Urbano coletado no Brasil (%)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Quando comparamos a relação entre a quantidade de resíduos que tiveram a destinação final adequada e a quantidade que foi destinada incorretamente, a proporção em relação ao ano anterior mantém-se quase inalterada.

Destinação	Adequado		Inadequado	
	%	t/ano	%	t/ano
2012	57,98%	32.794.632	42,02%	23.767.224
2011	58,06%	32.240.520	41,94%	23.293.920

Tabela 3.3 – Adequação da destinação final de RSU (% t/ano)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Apesar de quase 58% da destinação dos resíduos sólidos terem sido adequadas, 23,7 milhões de toneladas ainda foram direcionadas para o despejo a céu aberto nos lixões ou aterros controlados, favorecendo a proliferação de vetores biológicos como moscas, mosquitos, baratas e ratos, responsáveis por inúmeras doenças e contaminando o solo.

Em 2010, o volume de destinação inadequada foi 22,9 milhões de toneladas. Abaixo o gráfico 3.2 mostra o volume direcionado por tipo de destino. O volume de resíduos enviado a aterros sanitários foi maior em porcentagem, todavia ao verificarmos a quantidade nota-se que em relação a 2011 houve uma pequena piora. (ABRELPE, 2012).

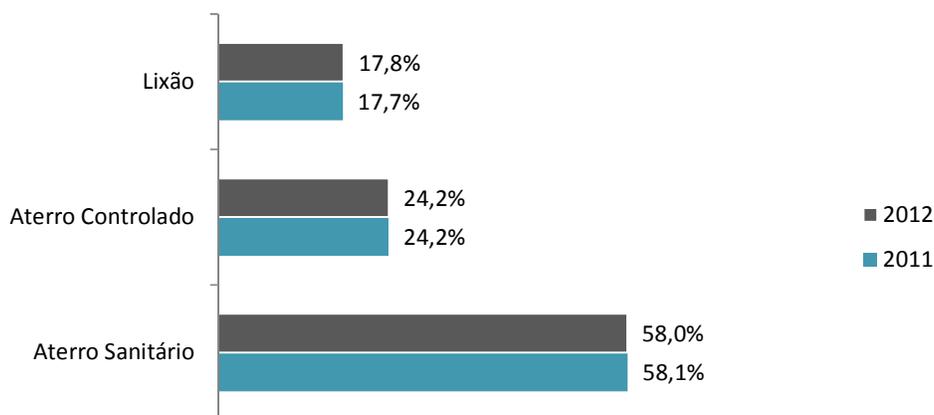


Gráfico 3.3 - Destinação final de RSU (t/dia)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Em 2012, 105.111 t/dia foram direcionadas a aterros sanitários, 43.881 t/dia para aterros controlados e 32.296 t/dia para os lixões, já em 2011 haviam sido enviados 103.335 t/dia a aterros sanitários, 43.032t/dia aterros controlados e 31.628t/dia a lixões.

	Aterro sanitário		Aterro controlado		Lixão	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Norte	88	90	109	110	252	249
Nordeste	446	450	502	505	846	839
Centro-Oeste	154	157	148	149	164	160
Sudeste	808	814	640	643	220	211
Sul	698	702	365	366	125	120
BRASIL	2194	2213	1764	1773	1607	1579

Tabela 3.4 - Quantidade de municípios por tipo de destinação

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Os municípios que mais utilizam os aterros sanitários e aterros controlados para descarte dos resíduos estão concentrados na região Sudeste, seguidos pela Sul e Nordeste. Já sobre o descarte em lixões, o Nordeste apresenta o maior índice, quase 7 vezes maior que a região Sul. Em comparação aos dados de 2011, as proporções quase não tiveram mudança. Os lixões continuaram sendo mais utilizados no Nordeste, contra os aterros nas regiões Sudeste e Sul. (ABRELPE, 2012)

O número de cidades que utilizam lixões reduziu cerca de 2% nos últimos anos, entretanto os baixos recursos aplicados ao setor de limpeza urbana para coleta, transporte, transferência, destinação e varrição ainda são um problema, já que para que se cumpra com efetividade a Lei 12.305/2010 são necessários investimentos econômicos e interesses sustentáveis.

Os recursos aplicados pelos municípios para todos os serviços de limpeza urbana no Brasil foram, em média, de R\$132,00 por habitante/ano em 2012. Considerando-se que são serviços que utilizam mão de obra intensiva, o número de empregos diretos no setor demonstra a sua relevância na geração e manutenção de postos formais de trabalho, que vêm crescendo a cada ano e em 2012 superaram 320 mil empregos diretos (ABRELPE, 2012).

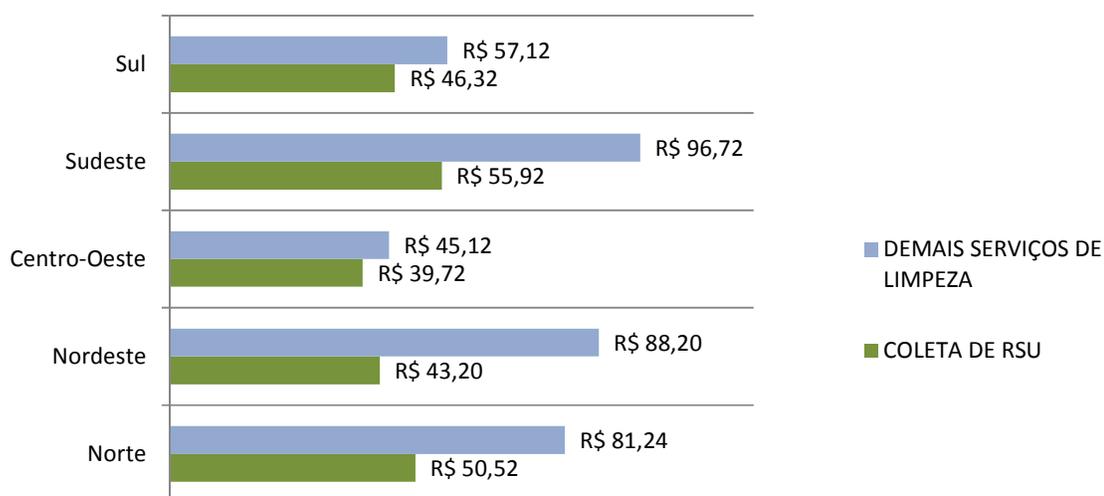


Gráfico 3.4 – Valores médios por hab/ano aplicado na coleta de RSU e demais Serviços de Limpeza Urbana (%)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

As regiões Sudeste e Nordeste são as que mais aplicaram recursos na coleta de RSU. Entretanto é possível observar que todas as regiões tiveram aumento quanto aos recursos destinados à coleta, no total mais de 6% de aumento em relação ao ano anterior.

Regiões	Recursos aplicados na coleta de RSU	
	2011	2012
Norte	571	608
Nordeste	1599	1708
Centro-Oeste	482	511
Sudeste	4010	4245
Sul	1022	1095
Total Brasil	7684	8167

Tabela 3.5 - Recursos aplicados na coleta de RSU (milhões/ano)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Atualmente 59,8% dos municípios brasileiros contam com iniciativas de coleta seletiva o que significa um aumento de 1% em comparação ao ano anterior contra 40,2%.

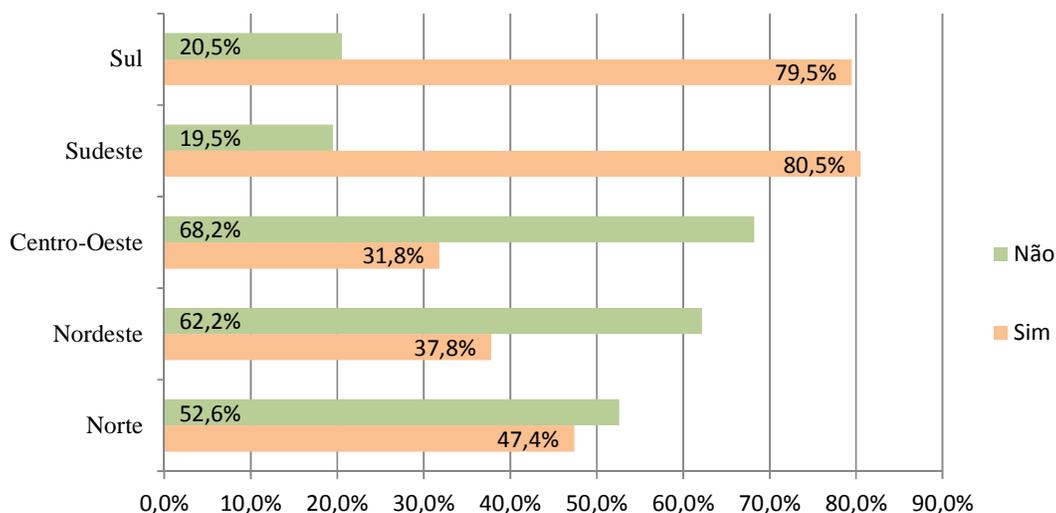


Gráfico 3.5 – Distribuição dos municípios com coleta seletiva (%)

Fonte: ABRELPE, 2012

Elaboração da autora

Com relação à coleta de lixo hospitalar, os municípios coletaram e destinaram 237,6 mil toneladas de resíduos de saúde, das quais 40% tiveram destino inadequado. Assim, verificamos que de uma forma geral, o índice de coleta de RSU tem crescido aos poucos no Brasil, a destinação adequada está acima dos 50%, o número de cidades que utilizam lixões está diminuindo, por outro lado, para a gestão adequada e sustentável dos resíduos ainda existem muitas ações necessárias, como os valores *per capita* destinados aos serviços de limpeza urbana e coleta de RSU de aproximadamente R\$ 11,00 por mês.

c) Resíduos Sólidos no âmbito mundial

Segundo dados do relatório *What a waste*, do World Bank (2012), o total de resíduos sólidos gerados no mundo pela população urbana foi de 1.3 bilhões de toneladas em 2012. Aproximadamente 50% desses resíduos foram produzidos pelos países integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) que engloba 34 países da América, Europa, Ásia e Oceania.

Este relatório estima que em 2025 a taxa diária de geração de resíduo sólido urbano na Ásia será de 1.8 milhões de toneladas por dia. Somente a China deverá aumentar em três vezes sua quantidade de resíduos de 520 milhões tonelada/ano para 1.4 bilhões de toneladas/ano neste período.

Os países de baixa renda gastam a maior parte de seus orçamentos com a coleta de RSU e apenas ¼ com a disposição correta, também são os responsáveis pelas maiores quantidades de matéria orgânica descartada, geralmente entre 40% e 85% dos resíduos. Já em países desenvolvidos, o processo é inverso, os maiores gastos estão concentrados na disposição, e não na coleta dos resíduos. Esses países apresentam também as maiores taxas de geração, por isso, a necessidade de se controlar a disposição e a maior parte de seus resíduos é composta por papel e plástico (World Bank, 2012).

Nível de renda	Orgânico	Papel	Plástico	Vidro	Metal	Outros
Países de baixa renda	64	5	8	3	3	17
Países de média renda	57	11	11	4	3	14
Países de alta renda	28	31	11	7	6	17

Tabela 3.6 – Tipo de resíduo por nível econômico dos países (%)

Fonte: World Bank, 2012

Elaboração da autora

A geração de RSU é influenciada pela economia, grau de desenvolvimento e industrialização do país, condições climáticas, hábitos e costumes da população. Geralmente, quanto maior a taxa de urbanização e a renda, maior a quantidade de resíduos produzidos. Em todo o mundo, os residentes urbanos produzem cerca de duas vezes mais RSU que os habitantes de áreas rurais.

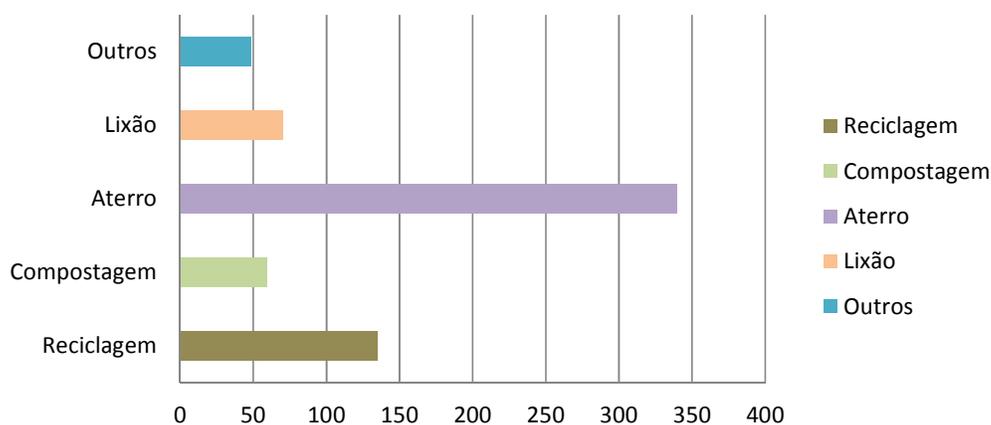


Gráfico 3.6 – Disposição mundial de RSU (milhões ton/ano) ¹

Fonte: World Bank, 2012

Elaboração da autora

¹ A incineração está contemplada dentro do volume “outros”, segundo o estudo do World Bank

Globalmente as formas mais comuns de disposição dos resíduos sólidos urbanos são os aterros e a reciclagem.

Os países desenvolvidos direcionam anualmente 250 milhões de toneladas de RSU a aterros, 129 milhões a reciclagem, 122 milhões a incineração e 66 milhões a compostagem. Comparando os volumes com os países de baixa renda, eles são bem diferentes, já que estes direcionam 6.1 milhões de toneladas a aterros, 2.9 milhões a reciclagem, 1.2 Milhões a compostagem e 0,12 milhões a incineração.

A cultura de programas que enfatizam os 3R's; reduzir, reutilizar e reciclar, com uma

produção mais responsável e foco no design do produto são característica encontradas em países desenvolvidos. A taxa de coleta é maior que 90% e feita através de caminhões compactadores e veículos altamente mecanizados onde o volume de resíduo é sempre considerado. O serviço de coleta de material reciclado e as instalações para processamento são de alta tecnologia e regulamentadas. A reciclagem informal ainda existe, mas é uma responsabilidade compartilhada com o produtor. O fluxo de resíduos orgânico enviados para a compostagem é menor do que em países de média e baixa renda, entretanto a digestão anaeróbia vem ganhando popularidade e seus processos tem o odor controlado Predominante em áreas onde o custo de terra é alto e que tem pouca disponibilidade, por exemplo Islândia, os incineradores são considerados como opção para o controle ambiental dos resíduos, os governantes regulam e monitoram suas emissões, entretanto apresentam um custo aproximado de três vezes o aterro por tonelada.

Os aterros sanitários são construídos com a melhor tecnologia disponível nos países desenvolvidos. Combinados com forros, detecção de vazamentos, sistema de coleta de chorume e biogás e sistema de tratamento, seus desafios estão relacionados com a criação de novos aterros, devido falta de terras disponíveis.

Nos países de baixa renda a reutilização e o baixo RSU *per capita* são comuns. A coleta é esporádica e ineficiente, atinge menos de 50% dos resíduos, e os serviços são limitados às áreas nobres e de interesse turístico. Os aterros tem baixa tecnologia, pouco cuidado com o descarte, gerando contaminação de lençóis freáticos, corpos de água e solo. Geralmente recebem resíduos hospitalares também, que podem trazer riscos a saúde da população devido

à disposição imprópria. A incineração não é comum por causa dos altos custos, da tecnologia necessária e dos custos de manutenção e operação. A maior parte do que é reciclado é através do setor informal e dos catadores de lixo. As taxas de reciclagem são as mais altas devido o interesse do mercado local e do mercado internacional desses resíduos para importação como os lixos eletrônicos. Não há regulamentação neste mercado que inclui muitos intermediários no processo, assim os preços sofrem grandes flutuações.

Segundo levantamento do National Waste Report for 2011 realizado pela EPA (Environmental Protection Agency), apesar do aumento da população na Irlanda sua taxa de geração de resíduos sólidos urbanos diminuiu 17% (2.823.242 toneladas/ano) desde que atingiu o pico em 2007. A diminuição do consumo pessoal durante este período tem como um dos principais contribuintes a recessão econômica e seu impacto sobre a geração de lixo doméstico. A taxa de recuperação de resíduos sólidos urbanos no mesmo país aumentou 5% no mesmo período e a coleta de resíduos orgânicos domésticos aumentou 21 %, de 63.837 t em 2010, para 77.494 t em 2011.

Os Estados Unidos dispõem 55,4% dos seus resíduos em aterros sanitários (EPA, 2003). Já outros países, como Holanda, Japão e Cingapura utilizam a incineração como método preferencial de tratamento de seus resíduos, depositando nos aterros somente as cinzas originadas no processo.

A hierarquia ideal para o consumo dos resíduos sólidos urbanos deveria considerar como premissa os 3 R's – reduzir, reutilizar e reciclar, não sendo possível dentro desta cadeia, então ocorreria o descarte em aterro sanitário.

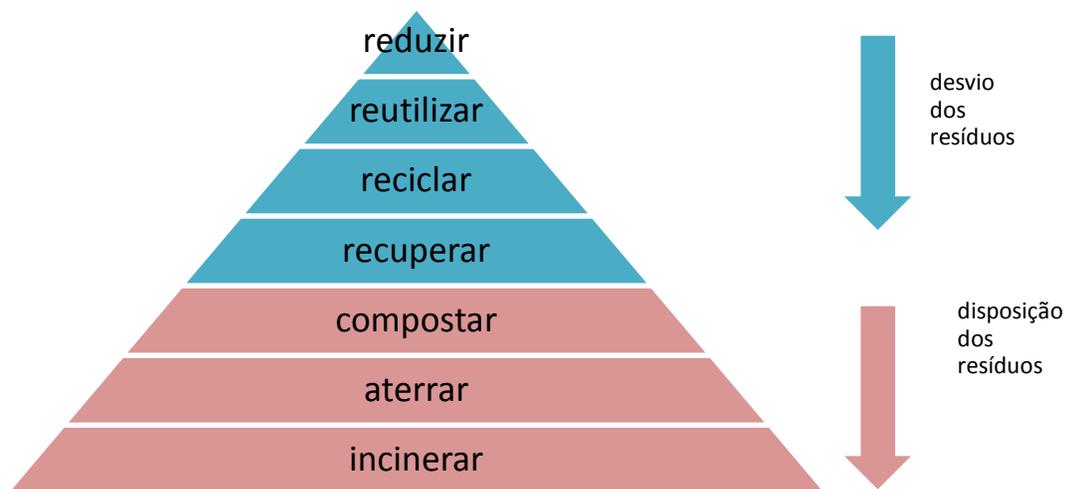


Tabela 3.7 – Tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos

Fonte: World Bank, 2012

Elaboração da autora

O mercado de investimento em tecnologias para o setor de resíduos sólidos tem um grande potencial de crescimento, já que a geração globalmente só aumenta a cada ano e são necessárias ações de controle e remediação para que possamos reduzir os impactos das nossas produções sobre o meio. Estima-se que as emissões de GEE provenientes de resíduos sólidos urbanos sejam responsáveis por 5% do total de emissões dos gases do efeito estufa globais, o metano, seguido do dióxido de carbono são os maiores emissores. Emissões de gases de efeito de estufa provenientes da gestão de resíduos sólidos urbanos podem ser prontamente reduzidas. Dentro da União Européia, a taxa de emissões de GEE total a partir desses resíduos diminuiu de 69 milhões de toneladas de CO₂ por ano para 32 milhões de toneladas de CO₂, entre os anos de 1990 e 2007 (ISWA 2009). Evidentemente, países desenvolvidos tendem a apresentar os melhores indicadores de renda *per capita*, saneamento básico, saúde e tratamento de epidemias que economias de transição ou subdesenvolvidos. Esses dados são um reflexo direto do gerenciamento dos seus resíduos.

Abaixo, a figura 3.1 retrata o mapa do consumo de RSU no mundo (*kg per capita/dia*). As maiores gerações estão concentradas nos Estados Unidos, Alaska, Nova Zelândia e países Nórdicos, seguidos do Canadá, Austrália, África do Sul e países europeus. Em contrapartida a maioria dos países africanos tem uma geração de até 1kg de por pessoa por dia.

Lixo

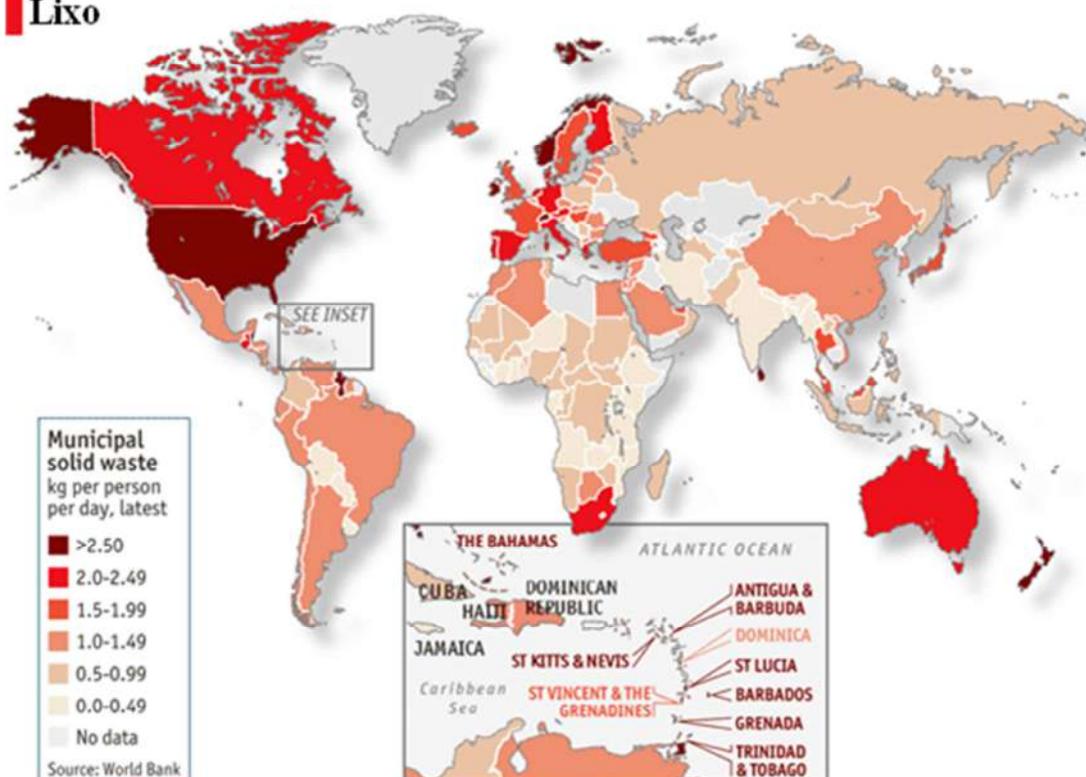


Figura 3.1 - Mapa do consumo de RSU no mundo (kg per capita/dia).

Fonte e elaboração: World Bank, 2012.

d) Resíduos Sólidos Orgânicos

Segundo Eigenheer (2005), o conhecimento e a compreensão dos aspectos históricos e econômicos da reciclagem e de sua inserção na sociedade industrial são importantes para que ela atinja os objetivos de caráter ambiental estabelecidos nas últimas décadas. A recuperação de materiais do lixo é uma prática antiga. Na Inglaterra do século XV, os restos orgânicos eram vendidos aos fazendeiros para alimentar a criação. No Brasil há registros de 1896 do *Jornal do Commercio* que mencionam as atividades de “catação” para suprir indústrias de reaproveitamento.

Dispor restos de alimentos, podas de árvores e outros rejeitos orgânicos em lixões ou aterros sem mecanismos adequados de controle são a principal causa do efeito estufa relacionada ao lixo urbano, uma vez que sua degradação por microorganismos produz gases como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) (CEMPRE, 2011). A cada 1 grama de metano corresponde a 25 gramas de dióxido de carbono, segundo o Painel Intergovernamental de

Mudanças Climáticas (IPCC). Os resíduos sólidos orgânicos são compostos de carbono associados ao oxigênio e hidrogênio e por isso são passíveis de decomposição por ação de microorganismos. Atualmente os resíduos orgânicos representam mais da metade dos RSU descartados nas cidades brasileiras, o país apresenta altos volumes de desperdício de alimentos, tanto nas cadeias produtivas e de distribuição, quanto no varejo, armazenamento e comercialização. Um estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2013), revelou que perdem – se anualmente 37 quilos de hortaliças e 35 quilos de frutas por habitante. O Brasil produz 17 milhões de toneladas de hortaliças ao ano e os brasileiros consomem 115 kg de hortaliças por habitante ao ano, considerando já os alimentos ou hortaliças *in natura* e processados.

O resíduo orgânico biodegradável é classificado pela ABNT como não inerte. Muitas vezes esse material é tratado com indiferença, entretanto oferece riscos ao meio, uma vez que apresenta potencial de contaminação ambiental devido à produção do chorume e metano. A matéria orgânica presente no lixo também é um agente que propicia a proliferação dos microorganismos e atrai vetores que encontram no lixo condições favoráveis de desenvolvimento. Esses elementos variam de acordo com a composição dos resíduos sólidos, sendo o teor de matéria orgânica e a umidade, fatores preponderantes para a sua formação.

e) Política Nacional de Resíduos Sólidos

Aprovada em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010 regulamentada pelo Decreto nº7404, entrou em vigor a partir de 2014. Ela dispõe sobre os princípios da minimização da geração, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final de resíduos sólidos, nesta ordem. Apresenta objetivos e instrumentos dos resíduos sólidos no Brasil, traz diretrizes quanto a gestão integrada, responsabilidades dos fabricantes, geradores e poder público, incentivo fiscal e financeiro às instituições que reutilizarem e reciclarem, promove a organização dos catadores para que alcancem emancipação econômica, propõe ampliação dos serviços de limpeza urbana, classifica resíduos eletrônicos como perigosos e implementa a logística reversa.

A partir da nova legislação todos os lixões a céu aberto e aterros controlados devem ser ratificados até 2014 e todas as administrações públicas municipais devem construir aterros sanitários ou industriais nesses locais com o devido preparo do solo para evitar a

contaminação de lençóis freáticos, com sistema de captação de chorume e aproveitamento dos gases gerados na biodigestão e decomposição da matéria orgânica dos RSU. Nestes só poderão ser armazenados rejeitos, ou seja, itens sem qualquer possibilidade de reciclagem e reaproveitamento, forçando também a compostagem dos resíduos orgânicos. Atualmente no Brasil, 10% no nosso lixo é composto por rejeitos.

Para os fabricantes, distribuidores e comerciantes a mudança também é significativa, já que ficaram obrigados a recolher e destinar para a reciclagem suas embalagens de plástico, papel, papelão, vidro e as metálicas usadas. As embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes e suas embalagens, todos os tipos de lâmpadas e de equipamentos eletrônicos descartados pelos consumidores, fazem parte da “logística reversa”. O setor da construção civil também fica obrigado a dar destinação final ambientalmente adequada aos resíduos de construção e demolição, não podendo mais encaminhá-los a aterros. (SÃO PAULO, 2010). As responsabilidades pelo lixo passam a ser compartilhadas entre os cidadãos, empresas, prefeituras e governos estaduais e federais. Os municípios devem programar o sistema de coleta seletiva e as cooperativas de catadores terão prioridade nas coletas. Todas as empresas, administrações públicas e cidadãos estão sujeitos à nova Lei. Além disso deverão conceber o “Plano de Gerenciamento de Resíduos” juntamente com demais instituições públicas e privadas para ajudar os prefeitos e cidadãos a descartar o lixo corretamente, tudo integrado ao Plano Municipal. Caso descumpram a legislação, podem ficar proibidos de receber recursos federais.

O Ministério do Meio Ambiente, (BRASIL, 2011) elaborou a evolução histórica das legislações sobre os resíduos sólidos, conforme pode ser verificado na tabela 4 abaixo. No Brasil, a mobilização para os devidos cuidados com o tratamento dos resíduos é relativamente nova, com pouco mais de 20 anos. Em países da Europa esse interesse vem há mais de 40 anos.

1991	Projeto de Lei 203 dispõe a propósito da disposição, coleta, tratamento, transporte e destinação dos resíduos de serviços de saúde.
1999	Proposição CONAMA 259 intitulada Diretrizes Técnicas para a Gestão de Resíduos Sólidos. Aprovada pelo Plenário do Conselho, embora não chegou a ser divulgada.

2001	<p>A Câmara dos Deputados cria e implementa Comissão Especial da Política Nacional de Resíduos com a finalidade de apreciar as matérias contempladas nos projetos de lei apensados ao Projeto de Lei (PL) 203/91 e formular uma proposta substitutiva global.</p> <p>Realizado em Brasília o 1º Congresso Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis, com 1.600 congressistas, entre catadores, técnicos e agentes sociais de 17 estados.</p>
2003	<p>Em janeiro foi realizado, em Caxias do Sul, o I Congresso Latino-Americano de Catadores, que sugere formação profissional, erradicação dos lixões, responsabilização dos geradores de resíduos. O presidente Lula cria Grupo de Trabalho (GT) Interministerial de Saneamento Ambiental a fim de solicitar a integração das ações de saneamento ambiental, no âmbito do governo federal. GT reestrutura o setor de saneamento e resulta na criação do Programa Resíduo Sólido Urbano.</p>
2004	<p>O MMA promove grupos de discussões interministeriais e de Secretarias do Ministério para elaboração de sugestão para a regulamentação dos resíduos sólidos.</p> <p>Em agosto, o CONAMA realiza o seminário “Contribuições à PNRS” com objetivo de ouvir a sociedade e estabelecer nova proposta de projeto de lei, pois a Proposição CONAMA 259 estava defasada.</p>
2005	<p>Nomeado um grupo interno na Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos do MMA para consolidar contribuições do Seminário CONAMA, os anteprojetos de lei existentes no Congresso Nacional e as contribuições dos diversos atores envolvidos na gestão de resíduos sólidos. Encaminhado anteprojeto de lei de “PNRS”, discutido com Ministérios das Cidades, da Saúde, mediante sua Fundação Nacional de Saúde-Funasa, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, do Planejamento, Orçamento e Gestão, do Desenvolvimento Social e Combate à Fome e da Fazenda.</p> <p>Realizada II Conferência Nacional de Meio Ambiente para consolidar participação da sociedade na formulação de políticas ambientais. Um dos temas prioritários são os resíduos sólidos.</p>
2006	<p>Aprovado relatório que trata do PL 203/91 acrescido da liberação da importação de pneus usados no Brasil.</p>

2007	Executivo indica, em setembro, o PL 1991. O projeto de lei da PNRS considerou o estilo de vida da sociedade contemporânea, que aliado às estratégias de <i>marketing</i> do setor produtivo, induzem a um consumo intensivo gerando uma série de impactos ambientais, à saúde pública e sociais incompatíveis com o modelo de desenvolvimento sustentado que se deseja implantar no Brasil. O PL 1991/2007 proporciona forte inter-relação com outros instrumentos legais na esfera federal, tais como a Lei de Saneamento Básico (Lei nº11.445/2007) e a Lei dos Consórcios Públicos (Lei nº11.107/1995), e seu Decreto regulamentador (Decreto nº. 6.017/2007). De igual modo está inter-relacionado com o Programa Nacional do Meio Ambiente PNMA, de Educação Ambiental, de Recursos Hídricos, de Saúde, Urbana, Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior e as que gerem inclusão social.
2008	Realizadas audiências públicas, com contribuição da Confederação Nacional da Indústria, da representação de setores interessados, do Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis e dos demais membros do GTRESID.
2009	Em junho, uma minuta do Relatório Final foi apresentada para receber contribuições adicionais.
2010	No dia 11 de março, o plenário da Câmara dos Deputados aprovou em votação simbólica um substitutivo ao Projeto de Lei 203/91, do Senado, que institui a PNRS e impõe obrigações aos empresários, aos governos e aos cidadãos no gerenciamento dos resíduos. Foi analisado em quatro comissões e no dia 7 de julho foi aprovado em plenário. No dia 2 de agosto, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, em cerimônia no Palácio do Itamaraty, sancionou a lei que cria a PNRS. No dia 23 de dezembro é publicada no Diário Oficial da União a Lei nº 12.305 que institui a PNRS e cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para implantação dos sistemas de logística reversa.

Tabela 3.8 - Histórico das Legislações sobre Resíduos Sólidos no Brasil

Fonte: MMA, 2010.

Elaboração da autora.

A PNRS regulamenta a utilização de tecnologias com o interesse na recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que comprovada a viabilidade técnica e ambiental, com monitoramento da emissão de gases tóxicos. Ela amplia a visão do saneamento básico, inclui serviços de manejo de RSU e controle de inundações, promovendo de forma indireta a melhora dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto. Fortalece a necessidade de aumento da interação entre os municípios, regiões metropolitanas e o governo, descentraliza a gestão dos serviços de limpeza urbana, que continuam sob a responsabilidade dos municípios, entretanto a gestão dos resíduos passa a ser dos estados (CORTEZ, 2012). Ela ainda favorece a readequação das atividades industriais de destinação final de resíduos sólidos, promove o crescimento das atividades industriais de

reciclagem e inclusão dos catadores organizados em cooperativas. A obrigatoriedade da logística reversa desenvolve a capacidade de articulação entre indústrias, distribuidores, comércio, associações de catadores e prefeituras. Tem o intuito de estimular a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos, promovendo o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos, estimulando a rotulagem ambiental, o consumo sustentável e a capacitação técnica na área de resíduos sólidos.

Sobre os orgânicos, a política traz o dever dos serviços de limpeza urbana implementarem um sistema de compostagem para resíduo sólido orgânico e articularem uma forma de utilização desse composto com finalidade social e econômica.

No gerenciamento dos resíduos, os novos mecanismos contribuem para estratégias mais eficientes sob o ponto de vista do controle climático, o que conseqüentemente pode significar redução de custos, ganhos sociais e menor impacto à qualidade da água, do ar e os recursos naturais como um todo.

Para os municípios, um dos grandes desafios da lei é a elaboração dos planos de gestão integrada e gerenciamento de seus resíduos, pois há falta de recursos, capacidade técnica na gestão de seus serviços de limpeza pública, coleta seletiva, organização e tratamento adequado.

Pela Lei, a solução é a formação de consórcios municipais facilitando a sustentabilidade ambiental e econômica, financiamento adequado e capacitação técnica e gerencial dos recursos humanos envolvidos, inclusão social em nível regional através de cooperativas e associações de trabalhadores em reciclagem, indispensáveis na implantação da logística reversa e da responsabilidade compartilhada.

As soluções podem ser implantadas através de acordos setoriais entre as esferas de governo e os setores empresariais e convênios/consórcios entre prefeituras, que facilitam a gestão e logística reversa. Os consumidores finais são responsabilizados e terão de acondicionar de forma adequada seu resíduo para coleta, inclusive fazendo a separação para a coleta seletiva.

4. O cenário energético brasileiro

Nas últimas décadas as catástrofes relacionadas às mudanças climáticas ficaram cada vez mais intensas, como: terremotos, enchentes, furacões e desmoronamentos. Além dos impactos em relação à qualidade de vida da população, mortes e doenças proliferadas, esses eventos também trazem prejuízo ambiental e obrigam os governantes a empenhar dinheiro e mão de obras nas reconstruções.

Muitas dessas reações da natureza são resultados de ações antrópicas, e por isso, poderiam ser evitadas a partir de um desenvolvimento consciente, sustentável e planejado.

Diante desse cenário os termos mais utilizados tornaram-se: efeito estufa, um fenômeno natural e necessário em que o calor emitido pelos raios solares fica retido nas camadas baixas da terra, conservando uma temperatura adequada para a vida terrena, e o aquecimento global, o resultado da intensificação do efeito estufa natural, gerado pelos GEE que estão absorvendo cada vez mais calor ao invés de dissipá-lo, provocando o aumento da temperatura do planeta (ICLEI, 2009).

O dióxido de carbono e o metano são os gases que a humanidade tem emitido em maiores quantidades, sendo os principais responsáveis pelo aquecimento global.

GEE	Potencial de aquecimento global	Principais causas
CO ₂	1 vezes CO ₂	Combustíveis fósseis, queimadas, incêndios florestais e desmatamento
CH ₄	21 vezes CO ₂	Processo anaeróbico em decomposição de material orgânico e processo digestivo de ruminantes
N ₂ O	310 vezes CO ₂	Queima de combustíveis fósseis e utilização de fertilizantes no solo
CFCs, HFCs, PFCs	140 à 11700 vezes CO ₂	Sistema de refrigeração e sprays aerossóis
SF ₆	22500 vezes CO ₂	Isolante e extintor de arco elétrico

Tabela 4 – Principais gases do efeito estufa

Fonte: ICLEI, 2009

Elaboração da autora

Embora muitos ainda contestem as previsões das mudanças globais do clima, a necessidade de alterações imediatas em nosso estilo de vida, produção e consumo são fundamentais para que haja continuidade da vida na terra.

A energia está presente no ciclo de vida de todos os produtos. A maioria dos problemas ambientais atuais está ligado a alguma etapa dos sistemas energéticos, como por exemplo:

- Desmatamento: para obtenção de lenha;
- Poluição do ar: produtos de combustão;
- Aquecimento global: emissão CO₂ e CH₄;
- Chuva ácida: emissão de SO_x, NO_x , etc pela combustão;
- Degradação costeira: vazamentos petróleo;

Cerca de 80% de nossa matriz energética hoje é oriunda de usinas hidrelétricas, uma fonte de energia renovável, mas não limpa e que apresenta grandes impactos na sua instalação. Mesmo assim o Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 considera um crescimento na capacidade de geração hidrelétrica no país, em especial na região Norte. Além desta, o Brasil conta também com outras energias renováveis: eólica, solar, biomassa e biogás. Em 2011, o investimento em energia renovável cresceu para 7 bilhões de dólares (PNUMA, 2012), 6,5% a mais que em 2010 e 30% a mais que em 2009. Somente o investimento na energia eólica representa mais de 60% deste total.

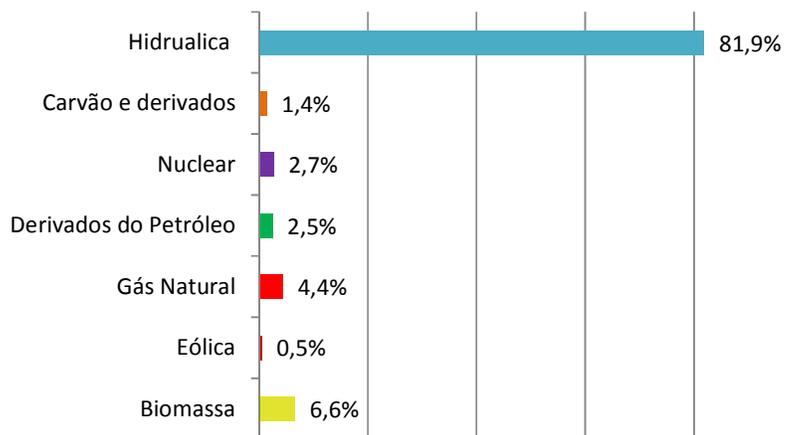


Gráfico 4 – Oferta de energia elétrica por fonte no Brasil

Fonte: BEN, 2012

Elaboração da autora

O Brasil tem todas as características naturais para desenvolver com sucesso as fontes de energias renováveis e limpas, por conta de suas condições climáticas. Hoje, considerando as

hidrelétricas (81,9%), a oferta interna de energia elétrica no Brasil é representada em mais de 85% por fontes renováveis.

Em 2010 as eólicas passaram a competir com as termelétricas a gás natural em leilões, entretanto os leilões de energia renovável vêm ocorrendo desde 2007.

A biomassa é um termo que engloba a matéria vegetal gerada através da fotossíntese e seus derivados, como resíduos florestais, agrícolas, resíduos animais e matéria orgânica que pode ser utilizada como combustível para fornecedor energia. De acordo com sua origem, a biomassa pode estar dividida em três grupos:

- Madeiras: lenhas derivadas de florestas naturais ou plantações energéticas, resíduos de atividades industriais como galhos não aproveitados de serrarias e da indústria de papel e celulose, carvão vegetal, licor negro e metanol.
- Resíduos agrícolas e Oleaginosas: biomassa resultante da colheita e do processamento de culturas anuais como cana-de-açúcar, arroz, café através de palhas, cascas e folhas. Com a produção de bioóleos derivados de plantas oleaginosas como dendê, buriti, mamona também são combustíveis para a produção de biomassa, assim como produtos de atividades agrícolas, como o esterco.
- Resíduos urbanos: compostos de lixo e a parte orgânica de águas do esgoto.

O biogás é outro combustível oriundo de energia renovável, produzido a partir da mistura gasosa de dióxido de carbono com gás metano. A produção do biogás pode ocorrer por meio da ação de bactérias em materiais orgânicos, ou de forma artificial, com a ajuda de um biodigestor anaeróbio. Ele pode ser utilizado em substituição a gases de origem mineral como o GLP, por exemplo, e o gás natural.

Por outro lado, o consumo de energias renováveis na matriz energética do Brasil nos últimos 40 anos não sofreu grandes mudanças. Em 1970 sua participação era de quase 60% do mercado brasileiro devido às hidrelétricas. Ao longo dos anos seguintes seu volume oscilou entre 40% e 50%. A oferta de energias renováveis no país baseia-se principalmente nas hidrelétricas (14,7%), derivados da cana-de-açúcar (15,7%), lenha e carvão vegetal (9,7%) e outras fontes (4,1%). Para as fontes não renováveis, os volumes em 2011 indicaram um consumo de 36,8% para petróleo e seus derivados, 10,2% para gás natural, 5,6% para carvão

mineral e 1,5% para urânio, totalizando 55,9 de energias não renováveis e 44,1% para as renováveis. A atual matriz energética brasileira afeta negativamente o cenário do aquecimento global, uma vez que o consumo de quase 37% de nossa matriz é oriunda da queima de petróleo e seus derivados, grandes emissores de CO₂, responsável pelo aquecimento global e, SO_x e NO_x (produtores de chuva ácida).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Oferta total de energia (tep)	198,7	201,9	213,4	218,7	226,3	237,8	252,6	243,9	268,8	272,4
Consumo total de energia (tep)	165,5	169,6	178,2	182,6	188,5	201,3	211,7	206,2	224,2	228,9

Tabela 4.1 – Oferta e demanda total de energia ao longo dos anos (tep).

Fonte: BEN, 2012

Elaboração da autora

O consumo final de energia em 2011 indicou que o setor da indústria (88.416tep) foi o maior consumidor, seguido pelos serviços (85.971tep), consumo residencial (23.374tep) e energético (22.376 tep). Dentro do setor industrial, o consumo no segmento de transformação registrou um aumento de 35% nos últimos 9 anos.

A oferta e demanda de energia vem crescendo no país os últimos anos, entretanto a demanda está sempre bem próxima à oferta. Essa proximidade é preocupante, pois indica que o Brasil não tem excedentes de energia e nem uma boa margem de segurança energética, o que reforça a necessidade de desenvolvimento de outras fontes de energia, com foco nas fontes renováveis.

Não é possível depender dos derivados do petróleo ou outras fontes não renováveis para suprir esse abastecimento, as hidrelétricas, apesar de renováveis não são fontes limpas e sua construção e operação demandam um longo período, além disso, com as mudanças no clima podem ser diretamente afetadas na sua capacidade, uma vez que os níveis hidrológicos do planeta já foram afetados. Para que não haja racionamento ou falta de energia elétrica é fundamento diversificar a matriz energética ampliando a utilização de fontes renováveis abundantes e menos impactantes, como: energia solar, eólica, biomassa e biogás.

Incentivos fiscais ao desenvolvimento de tecnologia, pesquisa e financiamento com políticas públicas de longo prazo para esses mercados e metas ambiciosas permitiriam ao Brasil desenvolver uma mentalidade mais consciente e inovadora em relação aos biocombustíveis.

4.1 Biogás

Durante milhares de anos, a biomassa foi responsável por atender à maior parte das necessidades de energia da humanidade. A partir de meados do século XIX sua utilização nos países industrializados começou a diminuir, com o início da era dos combustíveis fósseis (KLASS, 1998). Com a crise do petróleo na década de 1970, a biomassa passou a ser vista como um recurso energético viável, com potencial para reduzir a dependência do petróleo (KLASS, 1998). Mais recentemente, a crescente preocupação com as possíveis consequências das mudanças climáticas e as evidências da relação entre estas e o uso de combustíveis fósseis, responsáveis por mais da metade das emissões antrópicas dos gases causadores do efeito estufa (IPCC, 2007), reforçaram o interesse em ampliar a participação das fontes renováveis de energia (EC, 1997).

A produção de energia renovável a partir do biogás está entre as fontes menos prejudiciais ao meio ambiente, pois reduz a emissão de CO₂ e CH₄ na atmosfera e a dependência energética de fontes não renováveis. O Biogás é uma mistura resultante da fermentação anaeróbia de material orgânico encontrado em resíduos animais e vegetais, lodo de esgoto, resíduo sólido urbano orgânico ou efluentes industriais como: vinhaça, restos de abatedouros, curtumes e fábricas de alimentos, entre outros. A digestão anaeróbia é o processo fermentativo, sem a presença de oxigênio, em que a matéria orgânica é degradada em compostos mais simples, formando basicamente metano e gás carbônico.

Por conter propriedades semelhantes ao gás natural e um elevado teor de metano possui diversas aplicações energéticas, é uma fonte renovável e pode ser utilizado como combustível, agregando desta maneira, ganho ambiental e redução de custos, devido à diminuição de compra da energia consumida da concessionária local. Além dessa funcionalidade, pode ser utilizado também como: produtor de calor e energia combinados, secagem de grãos e lodos em estações de tratamento de água, queima em caldeiras, aquecimento e resfriamento, iluminação a gás, tratamento de chorume, combustível para veículos entre outros. As

principais vantagens em sua utilização estão relacionadas a redução dos resíduos orgânicos descartados, redução das emissões de CO₂ e CH₄, redução nos custos de energia, uso descentralizado de energia, gerando mais confiabilidade no setor energético, redução de odores pela decomposição dos restos orgânicos, uso veicular como combustível, geração de fertilizantes biológicos (diminuindo assim a utilização de fertilizantes químicos no solo), redução da poluição do solo e corpos d'água, já que evita o contato com o chorume e produção de eletricidade e energia térmica a partir de armazenamento de energia solar de acordo com as necessidades, independentemente da época do ano.

Dentre as tecnologias utilizadas para o aproveitamento da energia da biomassa, a digestão anaeróbia, desenvolvida principalmente com o objetivo de tratar resíduos e efluentes orgânicos, vem sendo cada vez mais utilizada por permitir a recuperação de energia através do aproveitamento do biogás e nutrientes, bem como prevenir a poluição ambiental (ZANETTE, 2009).

Na Europa a capacidade instalada em plantas de aproveitamento do biogás é superior a 2000MW, concentrada principalmente na Alemanha e Reino Unido, enquanto nos Estados Unidos essa capacidade é de cerca de 1000MW. No Brasil, o aproveitamento do biogás conta apenas com 42MW de capacidade instalada e 20MW em construção (ANEEL, 2009). Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (e, portanto de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais), é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial.

Parâmetro	Gás de aterro	Biogás - digestão anaeróbia
metano (% vol)	35 -65	53 - 70
poder calorífico inferior (MJ/Nm ³)	16	23
dióxido de carbono (% vol)	15 - 50	30 - 47
nitrogênio (% vol)	14732	-
ácido sulfídrico (ppm)	<100	<100
amônia (ppm)	5	<100

Tabela 4.1 – Composição típica do biogás

Fonte: ZANETTE, 2009

Elaboração da autora

Podem ocorrer variações na composição e no conteúdo energético do biogás, dependendo da matéria orgânica da qual foi gerado (gás de aterros, gás do resíduo, gás de esgotos, gás de lodo, gás de dejetos, dentre outros) e pelo processo em que foi produzido.

O uso mais comum desta tecnologia está atrelado aos sistemas agrícolas de tratamento de dejetos, somente na China e Índia, existem mais de oito milhões de biodigestores de pequena escala e baixa tecnologia para fornecer biogás para cocção e iluminação.

Na Europa e na América do Norte existem mais de 800 biodigestores em operação em fazendas. Os Estados Unidos, o Reino Unido e a Alemanha são os países industrializados com maior capacidade instalada de geração de eletricidade utilizando biogás (IEA, 2006). Além disso, observa-se que a capacidade instalada e a geração de eletricidade aumentaram quase 60% no período 2000-2004, com a maior parte dessa expansão concentrada nos países europeus, enquanto a utilização de biogás para a produção de calor permaneceu estável no período. Os países em desenvolvimento com maior capacidade instalada são China, Índia, Brasil, México e Coreia do Sul. O México também se destaca pela grande quantidade de projetos de redução de emissões em atividades agropecuárias, principalmente de tratamento de dejetos de suínos, porém a capacidade instalada de geração de eletricidade nestes projetos é pouco expressiva.

Além da produção de eletricidade, é interessante considerar alguns dados relacionados ao uso do biogás como combustível veicular. Embora ainda limitado, esse uso tem apresentado interesse crescente em diversos países em função do seu grande potencial e dos diversos benefícios ambientais, especialmente a ausência de emissões de monóxido de carbono e nitrogênio. No final de 2005 existiam apenas 1600 estações de abastecimento de biogás na Europa, entretanto, previa-se a operação ao final de 2006 de 1000 estações na Alemanha, 100 na Suíça e mais de 50 na Áustria. Entretanto, o país mais avançado nesse campo é a Suécia, com 779 ônibus e mais de 4500 automóveis abastecidos com biogás (EC, 2007).

Apesar dos mecanismos de incentivo existentes ao aproveitamento energético do biogás com a obtenção de Reduções Certificadas de Emissões através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e os incentivos às fontes alternativas renováveis de energia no Brasil, diversas barreiras regulatórias, institucionais, econômicas e tecnológicas dificultam o efetivo aproveitamento desta fonte no Brasil (ZANETTE, 2009).

4.2 Produção do biogás via digestão anaeróbia

Em todos os processos de digestão anaeróbica da matéria orgânica existem três etapas básicas envolvidas: hidrólise, fermentação (também conhecida como acidogênese) e metanogênese.

A primeira etapa para a maioria dos processos de fermentação, na qual o material particulado é convertido em compostos solúveis que podem então ser hidrolisados em monômeros simples que são utilizados pelas bactérias que realizam a fermentação, é chamada de hidrólise (ZANETTE, 2009).

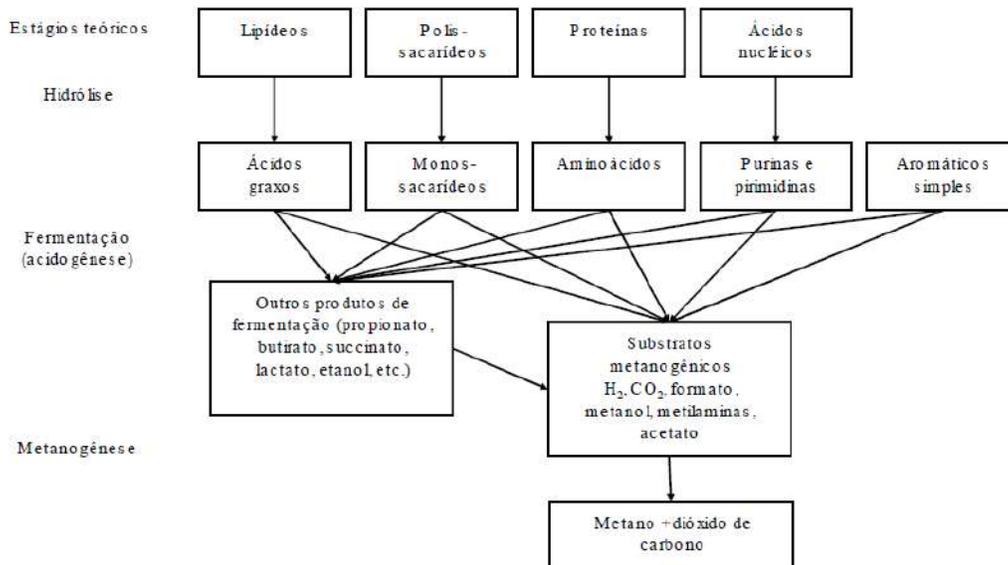


Figura 4 – Esquema das etapas do processo de digestão anaeróbica.

Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

A segunda etapa é a fermentação ou acidogênese. No processo de fermentação, aminoácidos, açúcares e alguns ácidos graxos são degradados. Os substratos orgânicos servem tanto como doadores como aceptores de elétrons. Os principais produtos da fermentação são acetato, hidrogênio, CO₂ e propionato e butirato. O propionato e o butirato são fermentados posteriormente para também produzir hidrogênio, CO₂ e acetato. Os produtos finais da fermentação (acetato, hidrogênio e CO₂) são, portanto, os precursores para a formação de metano na metanogênese (METCALF & EDDY, 2003).

A terceira etapa, a metanogênese, é realizada por um grupo de microrganismos coletivamente chamados de metanógenos. Dois grupos de organismos metanogênicos estão envolvidos na

produção de metano. Um grupo, chamado de metanógenos acetoclásticos, convertem o acetato em metano e dióxido de carbono. O segundo grupo, denominado metanógenos utilizadores de hidrogênio, utilizam hidrogênio como doador de elétrons e o CO₂ como receptor de elétrons para produzir metano. Bactérias dentro dos processos anaeróbicos, denominadas acetógenos, também são capazes de utilizar o CO₂ para oxidar o hidrogênio e produzir ácido acético. Entretanto, como o ácido acético será convertido em metano, o impacto desta reação é pequeno (ZANETTE, 2009).

O interesse no uso do tratamento anaeróbio pode ser explicado considerando as vantagens e desvantagens desse processo. Dentre as vantagens, destacam-se o balanço energético favorável, a menor produção de biomassa, menor necessidade de nutrientes, maior carga volumétrica e a possibilidade de tratamento da maioria dos compostos orgânicos.

Eles apresentam um balanço energético favorável, porque a energia, na forma de metano, pode ser recuperada a partir da conversão biológica de substratos orgânicos, ao invés de apenas consumirem energia, como é o caso dos processos aeróbicos, que apresentam um consumo significativo de energia para agitação e/ou aeração, apresentam elevada eficiência de conversão da concentração de matéria orgânica em metano com uma mínima produção de biomassa. As desvantagens dos processos anaeróbios relacionadas a condições operacionais, como tempo mais longo para o início da operação a plena carga, a sensibilidade a possíveis compostos tóxicos, estabilidade operacional e o potencial de produção de odores e de corrosão dos gases produzidos. A possível necessidade de adição de alcalinidade e de tratamento adicional também podem ser consideradas desvantagens (ZANETTO, 2009).

4.3 Biodigestor

O uso de biodigestores para o tratamento principalmente de dejetos de animais é amplamente disseminado em todo o mundo, com plantas tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. Na Índia, onde a tecnologia do biogás é conhecida há mais de cem anos, o Projeto Nacional de Desenvolvimento do Biogás, lançado pelo governo em 1981, resultou na instalação de 3,4 milhões de biodigestores domésticos (KAPDI *et al.*, 2004). Nesses casos, os biodigestores são geralmente empregados para fornecer gás para cocção e iluminação para uma residência.

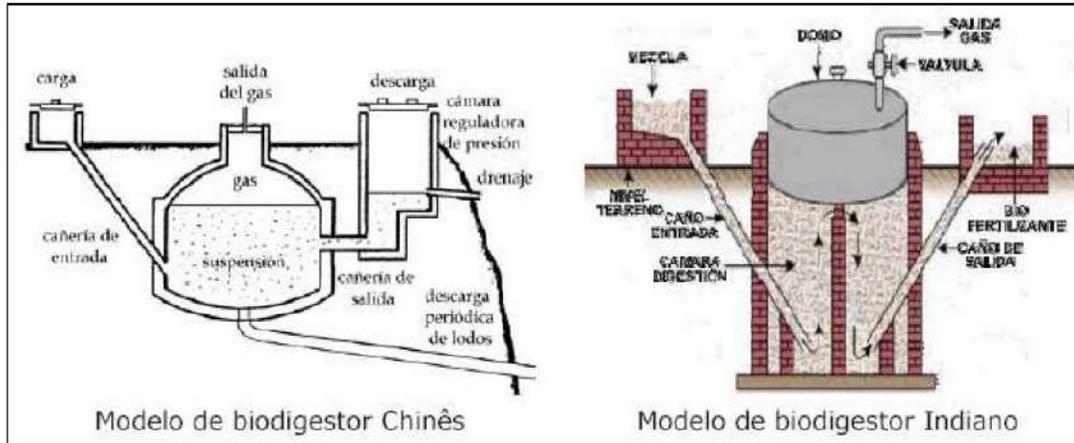


Figura 4.1 – Modelos de biodigestores utilizados em comunidades rurais.
 Fonte: ZANETTO, 2009.

Nos países desenvolvidos, as plantas de digestão anaeróbia em fazendas são geralmente maiores e o gás é utilizado para produzir calor e eletricidade. Na Europa, dois tipos de sistemas predominam: o chamado biodigestor com topo de borracha (figura abaixo) e o biodigestor de topo de concreto, geralmente construído no solo. Ambos são tanques com mistura intermitente com tempo de retenção hidráulica do resíduo no digestor de 15 a 50 dias. Existem biodigestores com uma membrana de cobertura simples ou dupla. A vantagem do biodigestor com topo de borracha é o custo, uma vez que uma membrana é mais barata do que uma cobertura de concreto. Além disso, a membrana serve para o armazenamento do biogás, enquanto os biodigestores de concreto requerem um sistema adicional para o armazenamento do biogás. Por outro lado, o isolamento térmico é mais fácil nestes últimos. Além disso, os biodigestores com membranas geralmente apresentam problemas de emissão de odores quando a borracha é inflada devido ao aquecimento pelo sol (ZANETTO, 2009).

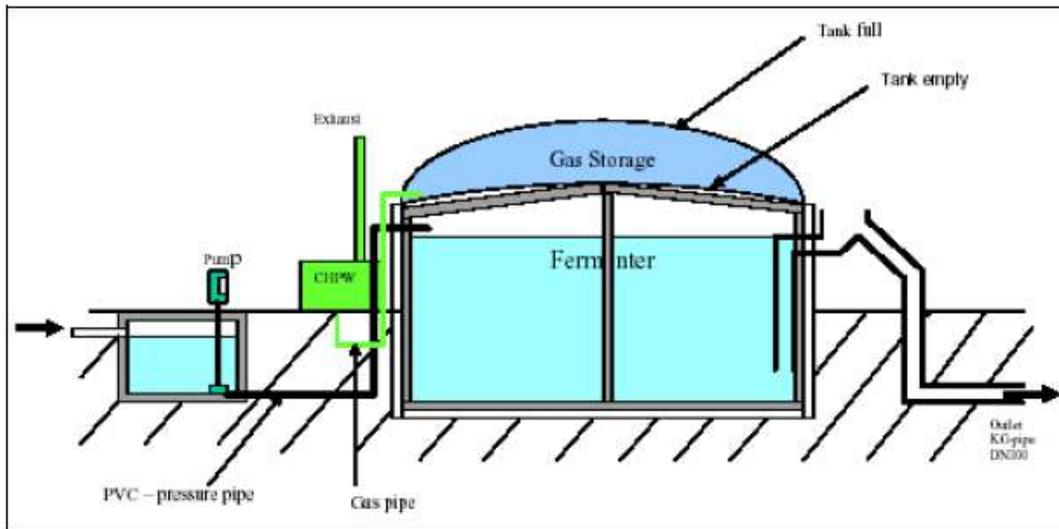


Figura 4.2 – Esquema típico de um biodigestor com membrana de borracha.

Fonte: IEA Bioenergy, 2006.

O tamanho dos biodigestores tem aumentado continuamente nos últimos anos. Na Alemanha, a potência média instalada passou de 50 kW em 1999 para 330 kW em 2002 (IEA, 2006). De acordo com METCALF & EDDY (2003), a produção de DBO no Brasil varia de 55 a 68 g/pessoa.dia (a partir de dados de HENZE *et al.*, 1997). O IPCC (IPCC, 2006) sugere um valor um pouco menor, de 45 a 55 g/pessoa.dia, mas toma como referência um trabalho anterior (FEACHEM *et al.*, 1983). As duas referências sugerem valores de produção de metano por quantidade de DQO removida similares: 0,25 kg CH₄/kg DQO. O IPCC também recomenda como padrão o valor de 0,60 kg CH₄/kg DBO, coerente com a razão DQO/DBO dos efluentes domésticos de cerca de 0,4 (relação entre a matéria orgânica biodegradável e a matéria orgânica total).

5. ESTUDO DE CASO

5.1. A empresa Bayer S.A

Fundada há mais de 150 anos e de origem alemã, a Bayer S.A é um empresa global presente em mais de 117 países. No Brasil, a multinacional foi fundada em 1897, no município de Belford Roxo, no Rio de Janeiro.

Sua estrutura de negócios é composta por competências em três divisões: Bayer CropScience (Ciências Agrícolas), Bayer HealthCare (Cuidados com a saúde humana e animal) e Bayer MaterialScience (Materiais Inovadores). O grupo é comprometido com os princípios de desenvolvimento sustentável e com o seu papel de empresa cidadã, ética e socialmente responsável. Economia, ecologia e responsabilidade social compõem os objetivos da política corporativa e são igualmente importantes para a empresa. No ano fiscal de 2012, a Bayer empregou 110.500 colaboradores ao redor do mundo e registrou vendas de 39,760 bilhões de euros. Os investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento somaram 3 bilhões de euros.

Em 2013, as vendas do grupo no Brasil alcançaram R\$ 5,7 bilhões, crescimento de 26% em relação ao ano anterior. O Brasil é o quinto maior mercado para a empresa mundialmente e o número um na América Latina. Somente no país, a empresa conta com 4500 colaboradores espalhados pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza, Mato Grosso, Paraná, entre outros.

Ao final de 2013 a empresa inaugurou em São Paulo, a construção de uma ponte móvel, que liga o site Socorro até a estação de trem Santo Amaro. O investimento foi de 5 milhões, mas a estimativa de econômica de emissão de gás carbônico por ano é de 300 toneladas.

- Bayer HealthCare

A Bayer HealthCare desenvolve produtos inovadores para a prevenção, diagnóstico e tratamento das mais diversas doenças, através de alta tecnologia e grandes programas de pesquisa e desenvolvimento para a saúde humana e animal.

É a principal divisão de negócios do Grupo Bayer mundialmente, formada por diferentes áreas de negócios. A Bayer HealthCare Pharmaceuticals, criada a partir da aquisição da Schering pela Bayer em 2006, é focada em produtos de especialidades farmacêuticas. Sua atuação é em áreas terapêuticas como: AVC, Câncer, Contracepção e Terapias Ginecológicas,

Degeneração Macular, Dermatologia, Diabetes, Saúde do Homem, Doenças Sexualmente Transmissíveis, Esclerose Múltipla, Hemofilia, Hipertensão, Doenças Pulmonares, Infecção Urinária, Saúde do Coração, Sinusite e Trombose. Seus principais produtos são: Breeze®, Contour TM S, Lancetas Mrimotet®.

A divisão de Radiologia e Intervenção tem como produtos: tomografia computadorizada, ressonância magnética, descartáveis e imagem Molecular.

Saúde Animal é divisão responsável por cuidados a saúde de animais de companhia e animais de produção. Para os animais de estimação, os medicamentos mais utilizados são: Advantage®, Advocate®, Kiltix®, Fllegard®, Drontal Plus®, Baytril® entre outros. Já para os animais de produção: Bayovac oleosa®, Baycox®, Kinetomax®, SpotOn.

A Bayer Consumer Care é a área de medicamentos isentos de prescrição. As principais marcas da são: Aspirina®, Redoxon®, Flanax® e Bepantol®.

Com 56.000 colaboradores em todo o mundo, a Bayer HealthCare investiu, em 2013, um montante de 2 bilhões de euros em Pesquisa e Desenvolvimento e registrou mundialmente vendas de 18,924 bilhões de euros. No Brasil parte de sua produção está nas unidades paulistanas da Chácara Santo Antonio e do Socorro e outra em Belford Roxo - RJ.

- Bayer CropScience

A Bayer CropScience é uma das líderes mundiais nas áreas de ciência agrícola e saúde ambiental, com um grande investimento em Pesquisa e Desenvolvimento. Suas atividades mundiais englobam os segmentos de:

- Proteção de Cultivos, voltado para o controle de plantas daninhas, doenças e pragas nas lavouras. Os seus produtos são: inseticidas e acaricidas, fungicidas, herbicidas e tratamento de sementes.

- Biotecnologia, que abrange os negócios de sementes convencionais, sementes de hortaliças e biotecnologia vegetal;
- Saúde Ambiental oferece soluções inovadoras para o controle doméstico e profissional de pragas urbanas através de produtos como: Racumin®, DeltaGard®, Rodilon Pellets®, jardinagem e reflorestamento (ForDor®, Decis®), grãos armazenados (K-Obiol®), saúde pública (Starycide®, Solfac®) e produtos de uso agropecuário (Quick Bayt®, Responsar®).

No Brasil, está localizado no Parque Industrial da Bayer em Belford Roxo, no Rio de Janeiro, uma das três maiores unidades de formulação de inseticidas, fungicidas e herbicidas da empresa em todo o mundo.

Mais de 22.400 colaboradores trabalham na Bayer CropScience no mundo e em 2013 essa unidade de negócios do Grupo Bayer registrou vendas globais de 8,8 bilhões de euros.

- Bayer MaterialScience

Esta divisão da Bayer é especializada em polímeros e sistemas de alta tecnologia, além de fornecer matérias-primas para as indústrias automotivas, de construção civil, indústrias de calçados e móveis, eletroeletrônico, fabricantes de materiais esportivos e de lazer, embalagens e equipamentos médicos.

As unidades de negócios são:

- Poliuretanos: Desmodur®, Arcol®, Bayfyt®;
- Policarbonatos: Makrolon®, Apec®, Blayblend®;
- Revestimentos, Adesivos e Especialidades: Desmophen®, Bayhydur®, Dispercol®;
- Poliuretanos Termoplásticos: Desmopan®;
- Química Básica Inorgânica.

Seus produtos estão presentes em aplicações como colchões; partes internas e externas de automóveis; CDs e DVDs; isolamento térmico de coberturas, refrigeradores e freezers; solados para calçados, bolas de futebol entre outros.

A Bayer MaterialScience tem cerca de 14.300 colaboradores em todo o mundo. Suas vendas mundiais totalizaram 11,238 bilhões de euros em 2013. Apresenta grande volume de vendas no mercado brasileiro em poliuretanos rígidos e de especialidades e no segmento de policarbonatos, também se destaca por ter no país a única fábrica de MDI, um dos componentes para formulação do poliuretano, da América Latina. A unidade de produção está localizada no Parque Industrial da Bayer em Belford Roxo, no Rio de Janeiro. Também está em Belford Roxo a única fábrica de resina alifática poliuretânica da América Latina, matéria-prima utilizada na formulação de vernizes para as indústrias da construção civil, moveleira e automotiva.

5.2 Análise de viabilidade

Os restaurantes da empresa Bayer S.A, localizados dentro da empresa na zona Sul de São Paulo oferecem 2 refeições diárias. No caso da unidade do Socorro: café da manhã: 500 refeições e almoço: 1600 refeições. Na unidade Chácara Santo Antonio, são servidos 50 refeições no café da manhã e 300 no almoço. Durante o ano, são servidas cerca de 660 mil refeições.

Restaurante	
café da manhã	
Frutas	120 kg
Ovos	26 kg
borra de café	15 kg
almoço	
legumes e verduras	441 kg
frutas de sobremesa	240 kg
ovos	105 kg
borra de café	1,5kg

Continua...

Escritórios	
Frutas	240 kg
borra de café	39,5 kg
Total diário	1.228 kg

Tabela 5 – Consumo de material orgânico dentro dos restaurantes e escritórios das duas unidades da empresa.

Fonte: Bayer S.A

Elaboração da autora

O consumo relacionado na tabela acima foi disponibilizado pela empresa responsável pela administração e operação dos restaurantes e do abastecimento de frutas e cafés nos escritórios.

Os resíduos orgânicos separados por volume indicam uma oportunidade mensal de 27.016 kg/mês e 324.192kg/ano ou quase 325 toneladas por ano somente de resíduo orgânico. Atualmente todo esse resíduo é direcionado para aterro.

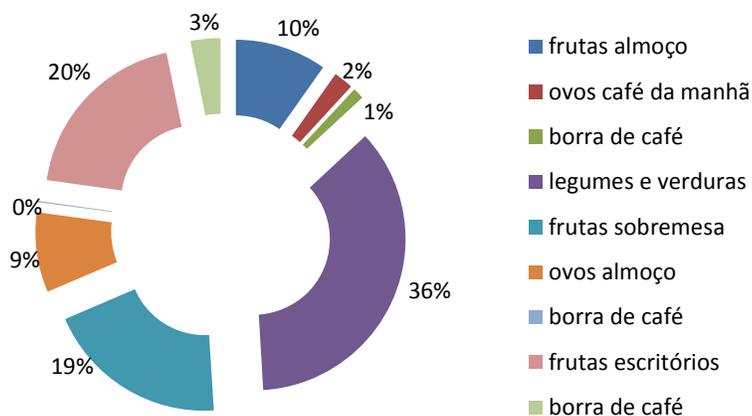


Gráfico 5 – Volume de cada resíduo sólido orgânico (%/dia)

Fonte: Bayer S.A

Elaboração da autora

Abaixo o mapa da localização das duas unidades da empresa Bayer S.A, ambas localizadas na zona Sul de São Paulo, SP.



Figura 5 - Mapa de localização da empresa Bayer S.A – unidade Socorro no Estado de São Paulo
Fonte: Google Maps



Figura 5.1 - Mapa de localização da empresa Bayer S.A – unidade Chácara Santo Antonio no Estado de São Paulo.

Fonte: Google Maps

A quantidade de resíduo orgânico gerado fora do restaurante (frutas e borras de café) não é calculada, assim, para fins deste estudo, é considerado o potencial de 364,5kg de resíduo orgânico proveniente do café da manhã e almoço dos dois restaurantes.

O estudo prevê a instalação de um biodigestor para tratamento por digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos gerados na empresa. No caso deste trabalho, a finalidade do biogás produzido é a iluminação da área externa da unidade do Socorro, que tem uma demanda mensal por eletricidade de 274,262.34 KWh em todo o site.



Figura 5.2 – Vista área de parte da Unidade Socorro, com detalhe para área de instalação do biodigestor

Fonte: Google Maps

5.3 Metodologia

Por conter um elevado teor de metano, o biogás pode ser utilizado em diversas aplicações energéticas. Os processos de digestão anaeróbica podem ser utilizados para o tratamento de qualquer material de origem orgânica. O tratamento de resíduos urbanos e agropecuários e de efluentes domésticos e industriais representa atualmente a principal aplicação desses processos em escala que permite o aproveitamento do biogás produzido. Nesta seção é apresentada uma análise da viabilidade técnica e ambiental da utilização de biogás gerado através do processo de decomposição da matéria orgânica com resíduos da Bayer.

Unidades	Chácara Santo Antonio	
	Socorro	Chácara Santo Antonio
Quantidade de RSU gerados diariamente no restaurante (kg)	323	323
Quantidade de RSU reciclável gerados diariamente no restaurante (kg)	Papel: 10 Metal: 10 Plástico: 9 Vidro: 7	Papel: 1,5 Metal: 2 Plástico: 2 Vidro: 1
Quantidade de RSU orgânico gerados diariamente no restaurante (kg)	287	77,5

Tabela 5.1 – Volume de RSU gerado na empresa (média de jan2014/ kg)

Dados: Bayer S.A

Elaboração da autora

O gráfico 5.1 mostra a distribuição da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da empresa Bayer S.A unidade Socorro em orgânicos e inorgânicos.

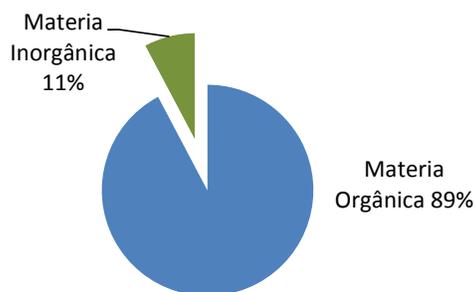


Gráfico 5.1 - Composição RSU Bayer – unidade Socorro 2014 (%)

Dados: Bayer S.A

Elaboração da autora

Já o gráfico 5.2 representa em porcentagem a quantidade de matéria orgânica e inorgânica gerada na unidade Chácara Santo Antonio.

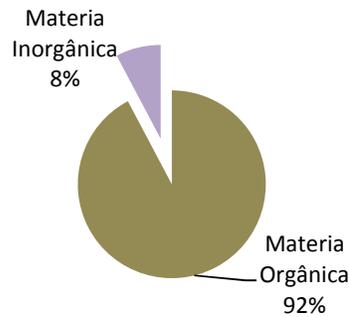


Gráfico 5.2 - Composição RSU Bayer – unidade Chácara Santo Antonio 2014 (%)

Dados: Bayer S.A

Elaboração da autora

Através dos volumes conhecidos de resíduos orgânicos é possível verificar que a Bayer, em suas duas unidades, tem um geração anual aproximada de 100 toneladas de resíduos.

Diário	Semanal	Mensal	Anual
364,5kg	1822,5kg	8019kg	96,228kg

Tabela 5.3.1 - Total de resíduo orgânico descartado (média de jan2014/ kg)

Dados: Bayer S.A

Elaboração da autora

O método apresentado neste trabalho é uma estimativa teórica. Para o cálculo do potencial de geração de biogás na empresa, foi utilizada a metodologia sugerida pelo IPCC, disponível no Módulo 6 – Lixo, do Guia para Inventários Nacionais de Gases de efeito Estufa, Volume 2: Livro de trabalho, de 1996. Esse método envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no lixo, calculando assim a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo.

O fator de correção do metano varia em função do tipo de local em que está. O IPCC define quatro categorias de disposição:

Lixão	0,4
Aterro controlado	0,8
Aterro sanitário	1,0
Locais sem categoria	0,6

Tabela 5.2 - Valores de fator de correção do metano

Fonte: IPCC, 1996

Elaboração da autora

No caso deste estudo, o valor corresponde a 1,0 uma vez que o resíduo será disposto em um biodigestor.

O modelo chinês de biodigestor abaixo é projetado enterrado no solo, para as propriedades rurais que são pequenas, ocupando menos espaço. Esse modelo é todo construído em alvenaria, tem o corpo em formato cilíndrico com o fundo e o teto em formato de calotas. Além disso, precisa de uma camada de impermeabilizantes nas paredes internas e externas, como forma de impedir infiltrações de água, trincas ou rachaduras. É mais barato que os outros, por dispensar o uso de gasômetro em chapas de aço, sendo assim o gás fica armazenado no interior do próprio reator .

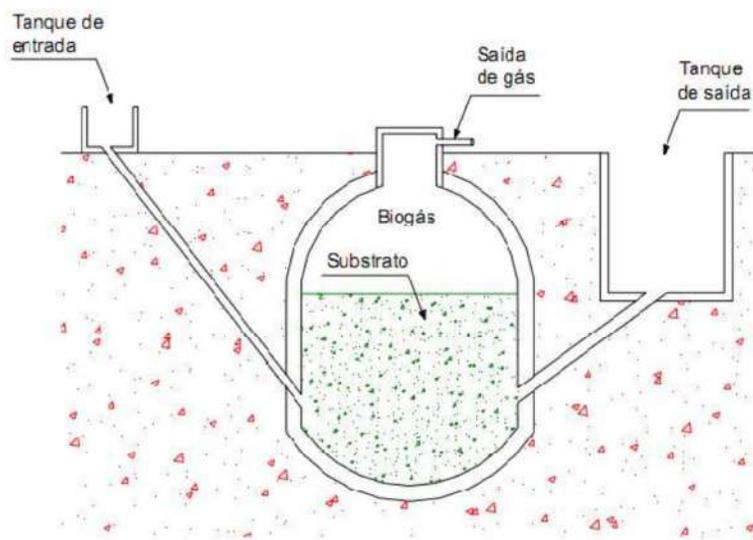


Figura 5.3 – Biodigestor chinês

Fonte: Nishimura, 2009

- Cálculo da emissão de metano CH_4 e biogás

É a equação para identificação da fração de carbono orgânico degradável no lixo. O valor de COD segue a partir da composição do resíduo gerado, da quantidade de carbono em cada componente e sua massa, apresentado abaixo, conforme Tabela do Módulo 5 – Resíduos, do Guia do IPCC, Volume 2: Geração de Resíduos, de 2006.

Componente	Porcentagem COD (massa)
Papel e papelão	40
Restos de alimentos	15
Resíduos de podas e jardins	17
Tecidos	40
Madeira	30

Tabela 5.3 - Teor de carbono orgânico degradável para cada componente do lixo

Fonte: IPCC, 1996

Elaboração da autora

Equação:

$$\text{COD} = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,40 \times D) + (0,30 \times E)$$

Sendo:

COD = carbono orgânico degradável (kg de C/kg de RSD)

A= fração de papel e papelão no resíduo

B= fração de resíduos originários de podas e jardins

C= fração de restos de alimentos no resíduo

D= fração de tecidos no resíduo

E= fração de madeira no resíduo

No caso da empresa Bayer, os resíduos enviados para esse processo são apenas materiais orgânicos:

Onde – Unidade Socorro:

A= MATERIA INORGANICA = 11%

C= MATERIA ORGANICA = 89%

$$\text{COD} = (0,4 \times 0) + (0,17 \times 0) + (0,15 \times 0,89) + (0,40 \times 0) + (0,30 \times 0)$$

$$\text{COD} = \mathbf{0,13 \text{ kg de C/kg de RSD}}$$

Onde – Unidade Chácara Santo Antonio

A= MATERIA INORGANICA = 8%

C= MATERIA ORGANICA = 92%

$COD=(0,15 \times 0,92)$

COD= 0,14 kg de C/kg de RSD

A fração dissociada de carbono orgânico degradável (COD_f) indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica, a uma temperatura média adotada de 35 graus Celsius.

$COD_f = 0,014 \times T + 0,28$

$COD_f = 0,77$ kg de C/kg de RSD_f

Após o cálculo, é necessário calcular o potencial de geração de metano no resíduo, observado na equação abaixo:

$L_0 = FCM \times COD \times COD_f \times F \times 16/12$

Onde:

L_0 = potencial de geração de metano proveniente da degradação do resíduo (kg de CH_4 /kg de RSD)

FCM= 0,6 fator de correção de metano

COD= 0,14 carbono orgânico degradável (kg de C/kg de RSD)

COD_f = 0,77 fração dissociada de COD

F= 50% média da quantidade de CH_4 presente no biogás da digestão anaeróbia – conforme definição IPCC (%)

16/12= fator de conversão de carbono em metano (kg de CH_4 /kg de C)

$L_0 = 1 \times 0,14 \times 0,77 \times 50 \times 16/12$

$L_0 = 7,1866$ kg CH_4 / Kg de resíduo

Conversão: $54,7 \text{ t} / 0,0007168 \text{ ton/m}^3 = 9.312.927,63 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ano}$ ou **1.077,89 m^3CH_4/h**

- Estimativa da potencia útil gerada e energia disponível

$$P = Q \times Pc \times n / 860.000$$

Onde:

P= potencia disponível a cada ano (kW)

Pc = poder calorífico do metano (8.500 kcal/m³CH₄)

Q= vazão do metano ao ano (m³ Ch₄/ ano)

n= eficiência do motor 0,28

860.000 = conversão de kcal para MW

$$P=1.077,89 \times 8.500 \times 0,28/860.000$$

$$\mathbf{P= 2,98 \text{ kW/ano}}$$

$$E= P \times [1/(365 \times 24)]$$

Onde:

E= energia disponível

P= potencia disponível (kW/ano)

Tempo de operação = 365 dia/ano x 24horas/dia

$$E = 2,98 \times 8760$$

$$\mathbf{E= 26,10 \text{ MWh/dia}}$$

Os valores acima apresentados indicam uma potencia anual de 2,98 kW e uma energia disponível de 26,10MWh/dia.

Esses volumes viabilizam a proposta inicial deste trabalho, a geração de energia a partir de resíduos sólidos orgânicos consumidos dentro da empresa Bayer.S.A, através da produção de biogás por um biodigestor.

CONCLUSÃO

Hoje, um dos principais problemas da sociedade moderna é a produção de resíduos sólidos e sua destinação. Desde a revolução industrial, quando a produção de bens de consumo aumentou ao lado do crescimento populacional exponencial, há cada vez mais a produção de resíduos sólidos.

Ações para conscientização, gerenciamento e disposição dos resíduos sólidos devem ser implantadas e acompanhadas. Preocupar-se com a destinação correta dos resíduos traz diversos benefícios à sociedade, como por exemplo: diminuir a exploração dos recursos naturais renováveis e não renováveis, reduzir o efeito da poluição sobre as águas, ar e solo, diminuir a oportunidade para a proliferação de doenças, evita o desperdício, gera empregos e renda pela comercialização dos recicláveis, reduz o consumo de energia e dos recursos, melhora a limpeza da cidade, possibilita o reaproveitamento de materiais que iriam para o aterro, entre outros.

Através da observação em relação a grande quantidade de resíduos sólidos urbanos descartados nos dias atuais, surgiu a motivação para o desenvolvimento desta tese. Os problemas de geração e disposição do lixo são inerentes a todos os setores da sociedade, seus impactos negativos e seus potenciais desconsiderados causam uma mista sensação de imprudência e responsabilidade.

O intuito deste trabalho é buscar alternativas e desafiar cada indivíduo para o questionamento sobre seus deveres e direitos no processo de gestão de seus próprios resíduos, através do exemplo da empresa, buscando o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos e a geração de energia por processo biológico.

Dentro do universo da empresa Bayer, é possível atingir um número de pessoas superior a 3000 por dia, uma vez que existem diversos colaboradores terceirizados transitando entre as duas unidades do município de São Paulo.

Indo ao encontro de seu papel de empresa ambientalmente responsável, esse volume de pessoas e resíduos gerados tem função importante na educação, conscientização, responsabilização de seus colaboradores diretos e indiretos. É uma forma de instruir e ensinar, através do exemplo, além de tratar-se de uma obrigatoriedade legal com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em vigor a partir de 2014.

A partir da apresentação dos resultados obtidos no decorrer do estudo pode-se observar que o biogás é uma fonte de energia renovável, que apresenta vantagens ambientais, tecnológicas e sociais significativas, entretanto sem o devido tratamento ele é dispensado na atmosfera, contribuindo para o aquecimento do planeta. Ele é uma fonte de energia renovável e limpa, gera uma baixa emissão de gases poluentes, não há geração de resíduo, como por exemplo fuligem, possibilita a economia de recursos naturais não renováveis, pode ser utilizado para a geração de energia, conforme proposto nesse trabalho, entre diversas outras finalidades.

Os resultados da avaliação técnica do biodigestor para de geração de energia pelo biogás oriundo do volume de resíduos sólidos orgânicos gerados na empresa Bayer, considerando as unidades do Socorro e Chácara Santo Antonio, é favorável. A quantidade de energia disponível atingida pelo volume disposto pelos restaurantes da Bayer, foi de 26,10 MWh/dia e a potencia de 2,98 kW/ano. Esse projeto apresentou-se tecnicamente possível e ecologicamente correto. Com a demanda de média mensal de 274,262.34 KWh somente no site Socorro, os volume de 26MWh/dia gerado poderá ajudar na iluminação das áreas externas do site, reduzindo assim, a necessidade de compra de energia elétrica para essa finalidade.

Mesmo com um volume anual de apenas 96 toneladas por ano é possível promove a correta destinação dos resíduos orgânicos dentro da própria empresa, reduzindo assim custos financeiros com:

- Processo de contratação de fornecedor para destinação deste resíduo, uma vez que hoje ele é destinado a aterro;

- Envio do resíduo para gestão de um fornecedor o que implica o acompanhamento e monitoramento dele constantemente para que a destinação esteja sendo feita de forma segura e correta;
- Transporte do resíduo com saída da unidade Socorro e Chácara Santo Antonio para a destinação final;
- Espaço de armazenamento dos resíduos em câmeras frias para que não haja aparecimento de insetos e animais nos restos de alimentos – custos com energia;

Em termos ambientais, há a diminuição das emissões de poluentes atmosféricos, uma vez que o único transporte de caminhão será do resíduo gerado na unidade Chácara Santo Antonio para unidade Socorro, local em que será instalado o biodigestor, uma distancia de 7 km. O composto será utilizado nas áreas de jardim da própria Bayer, não sendo necessário transporte e distribuição do material final.

Este trabalho não se aprofundou na estimativa de obtenção de créditos de carbono, mas o projeto também permite a viabilidade através da planta de biodigestão com redução de GEE, assim a venda de certificados de emissão reduzida melhora o tempo de retorno do investimento e sua taxa de atratividade.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/_download/informativo_recuperacao_energetica.pdf <Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

ABETRE - **Recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/a-abetre/opinioao/recuperacao-energetica-de-residuos> <Acesso em 22 de fevereiro de 2014>;

ABNT - **Política nacional de Resíduos Sólidos – Superintendência de Tecnologia da Informação**. Disponível em: http://www.abnt.org.br/imagens/eventos_comunicacao/ABNT16156_2013.pdf. <Acesso em 14 de fevereiro de 2014>;

AGÊNCIA BRASIL DE COMUNICAÇÃO - **42% dos resíduos sólidos coletados no país vão para locais inadequados**. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-05-08/42-dos-residuos-solidos-coletados-no-pais-va-para-locais-inadequados-indica-estudo>. <Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

AMAZON WATCH - **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**. 2ª Edição. Disponível em: <http://amazonwatch.org/assets/files/2012-setor-eletrico-desafios-oportunidades.pdf> <Acesso em 17 fevereiro 2014>.

BEN - **Balço energético brasileiro 2012**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf <Acesso em 22 de fevereiro de 2014>;

CENBIO - **Biogás de aterro para geração de eletricidade e iluminação**. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/aterro.pdf> <Acesso em 23 de fevereiro de 2014>;

CEMPRE - **Política Nacional de Resíduos Sólidos - Agora é lei**. Disponível em: http://www.cempre.org.br/download/pnrs_002.pdf < Acesso em 17 de janeiro de 2014>;

CEMPRE, 2014 - **Política Nacional de resíduos sólidos**. Disponível em: http://www.cempre.org.br/download/pnrs_001.pdf <Acesso em 23 de fevereiro de 2014>;

CINTRA, F. L. D.; FONTES, H.R.; PASSOS, E. E. M. et al. **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. p. 127-144.

COELHO, T.C., Alencar, R., Oliveira, R.M.S. **Estimativa da produção teórica do metano gerado no aterro sanitário de Palmas - TO**. Tocantins – PI, 2011. Universidade Federal do Tocantins.

CORTEZ. C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para geração de energia. Estudo de caso: AES Eletropaulo**. 2011. 246p. Tese (Doutorado em energia) – Programa em Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

COSTA, D. F. **Geração de Energia Elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. São Paulo, 2006. 194 p. Dissertação (Mestrado no Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, PIPGE). Universidade de São Paulo.

DOS SANTOS, M.C., LOPES, S., DIAS, F.G.: **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos**. 82p.: il. Instituto de Energia e Ambiente – USP - São Paulo, Brasil, 2012

EMBRAPA - **Desperdício de alimentos é desperdício de recursos naturais e financeiros**. Disponível em: [http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2013/junho/1a-semana/desperdicio-de-alimentos-e-desperdicio-de-recursos-naturais-e-financeiros/?searchterm=desperdicio alimentos](http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2013/junho/1a-semana/desperdicio-de-alimentos-e-desperdicio-de-recursos-naturais-e-financeiros/?searchterm=desperdicio+alimentos) <Acesso em 23 de fevereiro de 2014>;

EC (The European Commission), 1997, **Energy for the future: Renewable sources of energy** – White Paper for a Community strategy and action plan, COM (97) 599.

EC (The European Commission), 2007, **Renewable Energy Road Map** - Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future, COM (2006) 848.

ECONOMIST - **A rubbish map.** Disponível em:
<http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2012/06/daily-chart-3?zid=313&ah=fe2aac0b11adef572d67aed9273b6e55> <Acesso em 14 de fevereiro de 2014>;

EIGENHEER, E.M; FERREIRA, J.A; ADLER, R. **Reciclagem: mito e realidade.** 1º edição.vol. Ed. In-Fólio - Rio de Janeiro: Brasil, 2005.

EPA - **National Waste Report for 2011.** Disponível em:
http://www.epa.ie/pubs/reports/waste/stats/EPA_NWR11_12Nov11_haz%20tables%20update%20as%20per%20errata.pdf <Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

EPE - **Leilão de Reserva contrata 1.505 MW de energia eólica para o ano de 2015.**

Disponível em:

[http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Reserva%202013%20\(E%C3%B3lica\)/Leil%C3%A3odeReservacontrata1505MWdeenergiae%C3%B3licaparaoanode2015.aspx](http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Reserva%202013%20(E%C3%B3lica)/Leil%C3%A3odeReservacontrata1505MWdeenergiae%C3%B3licaparaoanode2015.aspx) <Acesso em 10 fevereiro 2014>;

FEACHEM, R.G., BRADLEY, D.J., GARELECK H., MARA D. D., 1983, **Sanitation and Disease – Health Aspects of Excreta and Wastewater Management**, World Bank, John Wiley & Sons, USA.

FERNADES, F. DA SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para compostagem de biosólidos.** Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, 2011.

FINEP , 2014 – **Compostagem.** Disponível em:

<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf> <Acesso em 23 de fevereiro de 2014>;

HENZE, M., HARREMOES, P., JANSEN, J., ARVIN, E., 1997, **Biological and Chemical Processes**, 2 ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 27.

IBGE - **Pesquisa nacional de Saneamento básico 2008.** Disponível em:
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/tabelas_pdf/tab105.pdf < Acesso em 17 de janeiro de 2014>;

IBGE - **Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Perfil dos Municípios Brasileiros. 2012.** Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64638.pdf> > Acesso em 21 de janeiro de 2014.

ICLEI, **Manual para aproveitamento de biogás.** São Paulo, 2009, 81 p.

IEA, 2006. **Renewables Information 2006.** Paris, IEA.

IEA BIOENERGY, 2009, **Bioenergy – A sustainable and reliable energy source.** Disponível em: <www.ieabioenergy.com> Acesso em fevereiro de 2014.

IPCC, 2006, **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, v. 5: Waste. Japão, IGES.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Módulo 6 – Lixo**, do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Volume: 2: Livro de trabalho, 1996. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>. Acesso em: 18 de março de 2014.

IPCC, 2007, Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2007: Mitigation.** Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

IPEA - **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos.** Disponível em: http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf <Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

KAPDI, S.S; VIJAY, V.K; RAJESH, S.K; PRASAD R., 2005, “Biogas scrubbing compression and storage: perspective and prospectus in Indian context”. **Renewable Energy**, v. 30, pp. 1195–1202.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 1985. 492 p.

LOPES, L; CALIXTO. B. **O que é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. São Paulo: Época, 03 jan. 2012. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Sociedade/o-caminho-do-lixo/noticia/2012/01/o-que-e-o-plano-nacional-de-residuos-solidos.html>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2014.

METCALF & EDDY. INC., 2003. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p.

MIISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - **Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico**. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/circulares/circular_76.pdf <Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – **Compostagem** – Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/seceex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf <Acesso em 23 de fevereiro de 2014>;

MOREIRA P.F.: **O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**, 2ª edição, Ed. International Rivers Network – Brasília: Brasil, 2012

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, T. C. **Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007, 5 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 46).

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso**. São Paulo, 2006. 152 p. Dissertação (Mestrado do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia). Universidade de São Paulo.

PORTAL ENERGIA E AMBIENTE - **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2013/08/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil/23263>. <Acesso em 17 de janeiro de 2014>;

PORTAL ENERGIA E AMBIENTE - **Biomassa: uma dupla solução** . Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/06/biomassa-uma-dupla-solucao/11991>. Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

PRB - **World Population clock**. Disponível em: <http://www.prb.org/> <Acesso em 02 de fevereiro 2014>;

REGO, R. C. F.; BARRETO, M. L.; KILLINGER, C. L. **O que é lixo afinal? Como pensam mulheres residentes na periferia de um grande centro urbano**. SciELO Public Health, v. 18. Rio de Janeiro - Brasil, 2002.

RIBER, C., RODUSHKIN, I., SPLIID, H., et al., 2007, “**Method for fractional solid-waste sampling and chemical analysis**”, International Journal of Environmental and Analytical Chemistry, v. 87, n. 5 (Abril), pp. 321-335.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. de A.; FERNADES; DA SILVA, 2011 JUNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos**. São Carlos (SC), 2002. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP, (Apostila).

SOARES, E.L.S.F.: **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/ COPPE – Rio de Janeiro, 2011.

Zanette, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

WORLD BANK - **What a waste. A global review of solid waste management 2012**.

Disponível em:

http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2012/07/25/000333037_20120725004131/Rendered/PDF/681350WP0REVIS0at0a0Waste20120Final.pdf < Acesso em 14 de fevereiro de 2014>;

WHO - Monitoring water and sanitation: for evidence-based policy and intervention. Disponível em: http://www.who.int/phe/events/wha_66/flyer_wsh_monitoring.pdf. <Acesso em 18 de janeiro de 2014>;

WHO - 2.4 billion people will lack improved sanitation in 2015. Disponível em: http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/sanitation_mdg_20130513/en/index.html <Acesso em 02 de fevereiro 2014>;

WHO - Water supply and sanitation monitoring. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/en/index.html < Acesso em 02 de fevereiro 2014>;

WHO - Progresso and sanitation and drinking-water 2013 update . Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/81245/1/9789241505390_eng.pdf <Acesso em 02 de fevereiro 2014>;

WWF - O potencial da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/informacoes/opiniao/?33182/o-potencial-da-bioeletricidade-na-matriz-eltrica-brasileira>. <Acesso em 10 fevereiro 2014>;

ANEXO

6. Compostagem

Há milhares de anos a compostagem já era praticada, desde a antiguidade os povos sabiam que resíduos orgânicos poderiam ser transformados em adubo para fertilização do solo. Entretanto, somente a partir de 1920 com Albert Howard é que o processo passou a ser pesquisado cientificamente e realizado de forma adequada (FERNADES; DA SILVA, 2011). Apenas 1,5% dos resíduos orgânicos era reciclado no Brasil em 1999, em países como Inglaterra, Estados Unidos e Índia esse índice chegava a 28%, 12% e 68%, respectivamente. Há várias experiências internacionais de recolhimento de resíduos orgânicos para compostagem, com a distribuição gratuita do adubo resultante do processo à população local. Assim, a sociedade fica mais consciente de que o resíduo orgânico tem valor, pois retorna aos cidadãos como um benefício, gerando economia sob o dinheiro que empregariam na compra de fertilizantes industrializados.

A compostagem é um processo de bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido e caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável, ou seja, a transformação de resíduos orgânicos em um composto, utilizado na área agrícola, de odor agradável, fácil manipulação e livre de microrganismos patogênicos (FERNADES; DA SILVA, 2011). Seu processo pode ser dividido de duas formas: compostagem aeróbia, conta com a presença de oxigênio, e compostagem anaeróbia, em que não há oxigênio.

Os fatores mais importantes que influem na degradação da matéria orgânica são: aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegração e à eliminação de patógenos. Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais ao crescimento bacteriano. O carbono é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a síntese celular.

Aeração é responsável por fornecer oxigênio aos microorganismos, removendo gás carbônico, água e calor. A compostagem aeróbia pode ocorrer a temperaturas variantes entre 25 °C e 70°C.

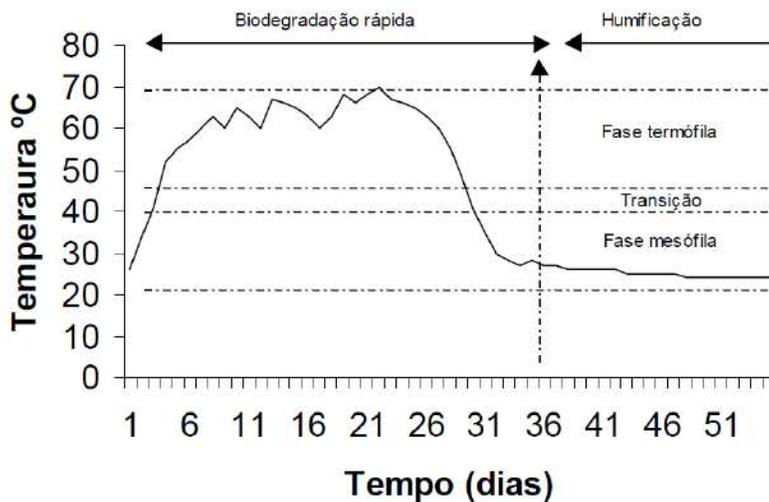


Figura 6 – Exemplo da evolução da temperatura em leira de compostagem

Fonte e elaboração: FERNADES; DA SILVA, 2011.

No composto a umidade deve variar entre 50% e 60%, como fonte de energia dos microorganismos necessitam de carbono e nitrogênio para a síntese de proteínas, por isso, a relação C/N é um fator de equilíbrio do substrato, o ideal é manter essa relação a 30.

Através desse processo é possível destinar adequadamente os resíduos orgânicos evitar a acumulação em aterros, diminuir as emissões de GEEs, aumentar a capacidade de retenção da água no solo, permitir o controle da erosão e melhorar a qualidade dos solos, evitando o uso de fertilizantes sintéticos. Quanto maior a variedade de matérias existentes, maior será a variedade microorganismos no solo.

Para a compostagem podem ser utilizados resíduos de cinzas, penas, lixo doméstico orgânico, aparas de grama, rocha moída e conchas, feno ou palha, podas de arbustos e cerca viva, resíduos de cervejaria, folhas, resíduos de couro, jornais, turfa, acículas de pinheiro, serragem, algas marinhas, ervas daninhas e quaisquer outros resíduos orgânicos agrícolas e de agroindústrias em geral.

Algumas vantagens do processo de compostagem são:

- No processo de decomposição em compostagem ocorre somente à formação de CO₂, H₂O e biomassa (húmus), por ser um processo de fermentação que ocorre na presença

de oxigênio (aeróbio), permite que não ocorra a formação de CH₄, que é altamente nocivo ao meio ambiente;

- Redução do lixo destinado ao aterro, com a economia financeira, ambiental, por não haver emissões para o transporte do resíduo e por não haver metano no aterro, e aumento de sua vida útil;
- Revalorização e aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;
- Eliminação de patógenos devido a alta temperatura atingida no processamento;
- Economia de tratamento de efluentes.

O produto final da compostagem é uma massa de textura fina e homogênea, sem cheiro característico dos resíduos que lhe deram origem. Constitui uma fonte de nutrientes para as plantas por apresentá-los na forma mineralizada, é um excelente condicionador e melhorador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O chorume é o líquido escuro e de mau cheiro que escorre da leira de compostagem. O chorume só é gerado em leira de compostagem conduzida inadequadamente por excesso de umidade.

Existem várias tecnologias de implementação desse processo, uma delas é o sistema de leira estática aerada (*static pile*). A mistura é colocada sobre uma tubulação perfurada, conectada com um soprador industrial que realiza a aeração através de um sistema de injeção de ar sob pressão ou por sucção.

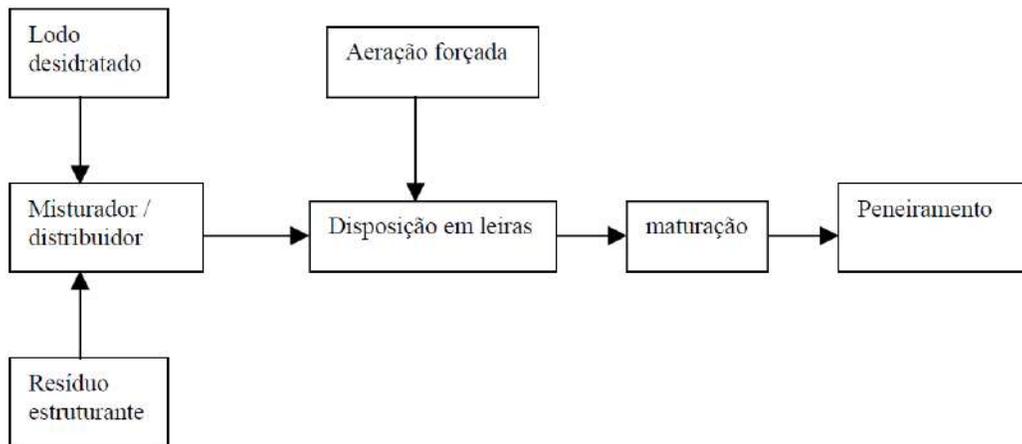


Figura 6.1 – Fluxo do processo de leira estática aerada
 Fonte: FERNADES; DA SILVA, 2011.

Quando a mistura de resíduos é colocada sobre as tubulações de aeração, ela permanece estática até o final da fase de bioestabilização.

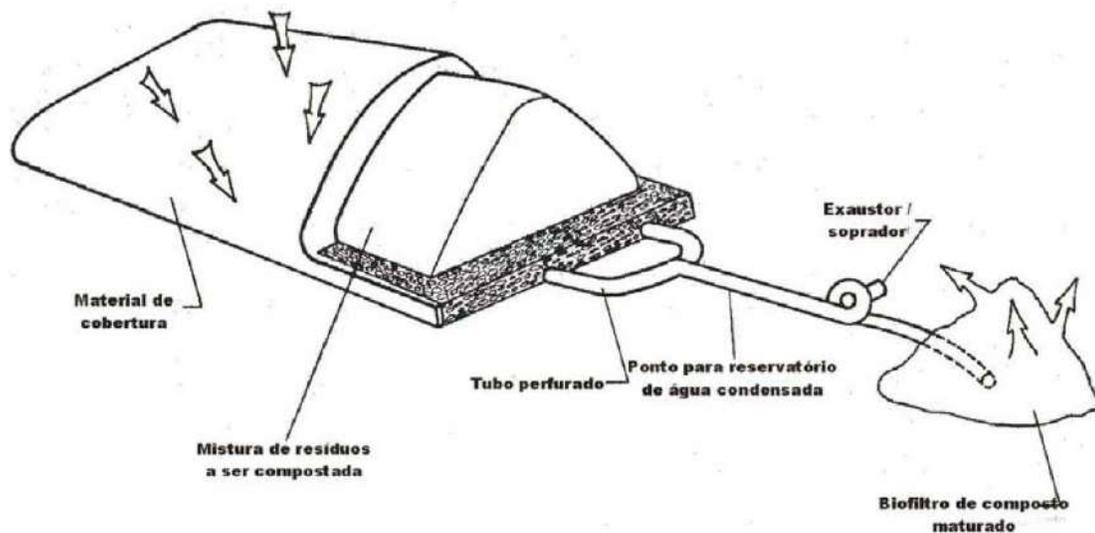


Figura 6.2 – Sistema de compostagem em leira estática aerada.
 Fonte: FERNADES; DA SILVA, 2011.

O sistema de aeração também pode alternar injeção e aspiração de ar. A tubulação de aeração pode ser constituída por tubos de PVC branco de 100 mm de diâmetro, sendo os orifícios de saída de ar espaçados de no máximo 18 cm. É recomendável recobrir a tubulação com uma camada de 20-30 cm de resíduo estruturante seco, para evitar entupimentos. Cavacos de

madeira, pela sua porosidade e resistência mecânica, são excelentes para esta finalidade (FERNANDES; DA SILVA, 2011).

O composto orgânico deve apresentar estrutura fofa, cheiro agradável, temperatura ambiente, pH próximo de 7 e livre de agentes patogênicos e de sementes de ervas daninhas.

Esse sistema pode ser colocado ao ar livre ou em área coberta, os sopradores têm em média potência de 1 a 5 HP e trabalham a pressões internas de 600 a 1000 mm de coluna d'água. O tratamento do odor é feito através da aspiração do ar, passando-o pela leira de composto já maturado, que teve capacidade de reter moléculas orgânicas voláteis causadoras de odor.

Esse sistema apresenta baixo investimento inicial, melhor controle de odores, fases de bioestabilização rápida, possibilidade de controle da temperatura e areação, por outro lado, necessita de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle de aeradores durante a compostagem e a sua operação é influenciada pelo clima (FERNANDES; DA SILVA, 2011).