

***Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI***

**ANDRIANI TAVARES TENÓRIO GONÇALVES**

**POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS DOMICILIARES E COMERCIAIS DO  
MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ - MG**

**ITAJUBÁ**

**2007**

***Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI***

**ANDRIANI TAVARES TENÓRIO GONÇALVES**

**POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS DOMICILIARES E COMERCIAIS DO  
MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia da Energia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa.

CO-ORIENTADORA: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Regina Mambeli Barros

**ITAJUBÁ**

**2007**

**A DEUS, aos meus pais, esposo, filhas e amigos,  
pela força dada nesta batalha.**

**Agradeço ao Professor Alexandre e à Professora Regina,  
pela orientação e pelo apoio.**

# SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	<i>viii</i>
<i>LISTA DE TABELAS</i> .....	<i>x</i>
<i>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</i> .....	<i>xii</i>
<i>RESUMO</i> .....	<i>xiv</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>xv</i>
<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 – Justificativa .....	2
1.2 – Objetivos.....	2
1.3 – Estrutura do Trabalho.....	3
<b>2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 – Resíduos sólidos .....	5
2.1.1 – Classificação dos resíduos sólidos .....	6
2.1.2 – Reduzir, Reutilizar e Reciclar (3 R's) .....	8
2.1.3 – Tipos de coleta e alternativas para o destino adequado dos resíduos sólidos... ..	10
2.1.4 – Caracterização física dos resíduos sólidos .....	11
2.1.4.1 – Metodologias nacionais.....	13
2.1.4.2 – Metodologias internacionais.....	20
2.1.4.3. O uso das metodologias .....	26
2.1.5 - A questão dos resíduos sólidos no Brasil .....	27
2.1.6 – Alguns trabalhos de caracterização física de resíduos.....	30
2.2 – Geração de energia a partir dos resíduos sólidos .....	33
2.2.1 – Digestão anaeróbia .....	34
2.2.1.1 – Etapas do processo de digestão anaeróbia acelerada.....	35
2.2.1.2 – Fatores de influência na digestão anaeróbia .....	38
2.2.1.3 – Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia acelerada.....	40
2.2.1.4 – Composição e utilização do biogás.....	40
2.2.1.5 – Estimativa de energia elétrica .....	41
2.2.1.6 – Produção de energia.....	42
2.2.2 – Tecnologia do Gás de Lixo (GDL).....	43
2.2.2.1 – Formação do Gás de Lixo.....	43
2.2.2.2 – Fatores que afetam a geração de gás .....	47
2.2.2.3 – Sistema de coleta e extração do GDL .....	51
2.2.2.4 – Panorama mundial da geração de energia a partir do GDL .....	55
2.2.2.5 – Panorama brasileiro da geração de energia a partir do GDL .....	56
2.2.2.6 – Vantagens e desvantagens da tecnologia de GDL.....	58

2.2.2.7 – Obtenção de energia elétrica .....	58
2.2.2.8 – Produção de energia .....	59
2.2.2.9 – Modelos de estimativa da geração de GDL .....	60
2.2.2.10 – Considerações dos modelos de estimativa da geração de GDL .....	67
2.2.3 – Incineração .....	69
2.2.3.1 – Incineração no Brasil .....	70
2.2.3.2 – Tecnologia para a incineração .....	72
2.2.3.3 – Vantagens e desvantagens da incineração de RSU .....	72
2.2.3.4 – Energia elétrica a partir da incineração de RSU .....	73
2.2.4 – Tecnologia BEM .....	74
2.2.5 – Impactos ambientais das tecnologias .....	75
<b>3 – GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ .....</b>	<b>78</b>
3.1 – Caracterização do município .....	78
3.1.1 – Caracterização do meio físico .....	78
3.1.2 – Caracterização do meio antrópico .....	80
3.1.3 – Dinâmica populacional .....	80
3.1.4 – Economia .....	81
3.2 – Caracterização do sistema de limpeza urbana .....	81
3.2.1 – Estrutura administrativa .....	82
3.2.2 – Infra-estrutura, veículos e equipamentos .....	82
3.2.3 – Serviços prestados pelo sistema de limpeza urbana .....	82
3.2.3.1 – Serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos .....	82
3.2.3.2 – Serviços de varrição, capina e poda .....	84
3.2.4 – Disposição final dos resíduos sólidos urbanos .....	85
3.2.5 – Caracterização do futuro aterro sanitário .....	87
3.2.5.1 – Caracterização geral da área .....	87
3.2.5.2 – Caracterização do aterro sanitário .....	88
<b>4 – DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>90</b>
4.1 – Caracterização física dos resíduos .....	90
4.2 – Estudo da potencialidade energética .....	94
4.2.1 - Estimativa da população .....	97
4.2.2 - Estimativa da geração RSD e RSC .....	99
4.3 – Análise dos custos e receitas .....	99
<b>5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>101</b>
5.1 – Caracterização física dos resíduos .....	101
5.1.1 – Classificação dos resíduos sólidos domésticos .....	103
5.1.2 – Análise e comparação da composição física média dos setores .....	104
5.1.3 – Comparação com outras caracterizações físicas .....	106

5.1.4 – Composição física do setor comercial.....	108
5.2 – Estimativa da geração de energia a partir dos resíduos sólidos domésticos e comerciais de Itajubá - MG.....	109
5.2.1 – Análise de sensibilidade da equação de geração de metano.....	109
5.2.2 – Estimativa da geração de energia.....	111
5.2.3 - Custos e receitas.....	117
5.2.4 – Alocação das Unidades de Geração de Energia .....	123
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	124
ANEXO A - Formulário de caracterização física dos resíduos sólidos urbanos.....	127
ANEXO B - Formulário de caracterização dos trechos de coleta de amostras .....	129
ANEXO C - Planta de implantação do aterro sanitário - Layout e paisagismo inicial.....	131
ANEXO D - Planta de encerramento do aterro sanitário - Layout e paisagismo final ....	133
ANEXO E - TABELA 21 – Variação da produção de metano em função de $k$ .....	135
ANEXO F - TABELA 22 – Variação da produção de metano em função de $L_0$ .....	140
ANEXO G - TABELA 23 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 1 ....	145
ANEXO H - TABELA 24 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 2 ....	148
ANEXO I - TABELA 25 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 1 .....	151
ANEXO J - TABELA 26 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 2 .....	154
ANEXO L - TABELA 27 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 1 .....	157
ANEXO M - TABELA 28 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 2 .....	160
ANEXO N - TABELA 29 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 1 .....	163
ANEXO O - TABELA 30 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 2 .....	166
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Etapas de realização deste estudo.....	3
FIGURA 2 – Composição percentual média dos RSD no Brasil.....	8
FIGURA 3 – Matéria orgânica em cestos de compostagem .....	10
FIGURA 4 – Amostragem para análise da composição física .....	14
FIGURA 5 – Quarteamento dos resíduos coletados.....	16
FIGURA 6 – Composição física média de Botucatu/SP.....	28
FIGURA 7 – Composição física dos RSD do município de Itajubá – MG .....	29
FIGURA 8 – Duração das fases variando com o tempo .....	44
FIGURA 9 – Sistema de coleta de GDL em um aterro sanitário .....	51
FIGURA 10 – Localização do município de Itajubá/MG .....	79
FIGURA 11 – Média mensal diária de resíduos domiciliares e comerciais coletados ....	83
FIGURA 12 – Média mensal diária de RSS coletados .....	84
FIGURA 13 – Vista do depósito de resíduos de Itajubá (lixão) - Situação anterior..	85
FIGURA 14 – (a) Vista geral do depósito de resíduos do município de Itajubá e (b) Entrada do depósito de resíduos. ....	86
FIGURA 15 – Localização do aterro sanitário e do depósito de resíduos atual.....	87
FIGURA 16 – Vista geral do depósito de resíduos do município de Itajubá/MG.....	90
FIGURA 17 – Caminhão utilizado na coleta das amostras .....	92
FIGURA 18 – Caracterização física dos resíduos sólidos domésticos e comerciais: (a) Descarregamento dos resíduos coletados, (b) Quarteamento dos resíduos, (c) Triagem dos materiais, (d) Pesagem por tipo de resíduos.....	93
FIGURA 19 – Tela de inserção de dados do programa LandGEM .....	96
FIGURA 20 – Composição física dos resíduos sólidos domiciliares do município de Itajubá/MG.....	102
FIGURA 21 – Composição física dos resíduos sólidos domiciliares dos setores do município de Itajubá - MG .....	104

FIGURA 22 – Composição física dos RSD de Itajubá em 1997*, 2003** e 2006 ..	106
FIGURA 23 – Comparação da composição física média dos RSD de Itajubá e do Brasil .....	107
FIGURA 24 – Composição física dos resíduos sólidos comerciais do município de Itajubá – MG .....	108
FIGURA 25 – Variação da geração de metano em função de $L_0$ e $k$ .....	110
FIGURA 26 – A sensibilidade da geração de metano em função do parâmetro $k$ .	110
FIGURA 27 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Primeira Hipótese (CEN 1) .....	112
FIGURA 28 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Primeira Hipótese (CEN 2) .....	113
FIGURA 29 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Segunda Hipótese (CEN 1) .....	113
FIGURA 30 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Segunda Hipótese (CEN 2) .....	114
FIGURA 31 – Geração de metano ( $m^3$ /ano) – Primeira Hipótese .....	114
FIGURA 32 – Geração de metano ( $m^3$ /ano) – Segunda Hipótese .....	115
FIGURA 33 – Geração de energia (kWh/ano) – Primeira Hipótese .....	116
FIGURA 34 – Geração de energia (kWh/ano) – Segunda Hipótese .....	116
FIGURA 35 – Custos e receita da situação otimista .....	122
FIGURA 36 – Custos e receita da situação pessimista.....	122

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis dos RSD .....	7
TABELA 2 – Composição típica do biogás.....	41
TABELA 3 – Tecnologia de geração de energia .....	54
TABELA 4 – Distribuição geral de plantas de GDL pelo mundo (2001).....	56
TABELA 5 – Vantagens e desvantagens tecnologia do GDL .....	58
TABELA 6 – Categoria de resíduo de acordo com o modelo ADEME.....	66
TABELA 7 – Vantagens e desvantagens da incineração de RSU .....	72
TABELA 8 – População total e sua respectiva distribuição percentual, por sexo e situação do domicílio, proporção de pessoas naturais do município de Itajubá.....	80
TABELA 9 – Distribuição percentual da população residente, por grupos de idade. ....	80
TABELA 10 – Distribuição percentual da população residente, por cor.....	81
TABELA 11 – Setores, percentual da população e número de amostras .....	91
TABELA 12 – Programação da semana (20 a 26 de setembro de 2006).....	92
TABELA 13 – Composição física dos RSD de Itajubá/MG .....	101
TABELA 14 – Classificação dos RSD de Itajubá em função da biodegradabilidade .....	103
TABELA 15 – Classificação dos RSD de Itajubá em função do grau de combustão.....	103
TABELA 16 – Classificação dos RSD de Itajubá segundo D'ALMEIDA & VILHENA (2000).....	104
TABELA 17 – Estimativa da população e da geração de resíduos para a Hipótese 1 ..	111
TABELA 18 – Estimativa da população e da geração de resíduos para a Hipótese 2 ..	111
TABELA 19 – Resultados dos custos e receitas da situação otimista .....	117
TABELA 20 – Resultados do custo e receita da situação pessimista .....	119
TABELA 21 – Variação da produção de metano em função de k.....	136
TABELA 22 – Variação da produção de metano em função de $L_0$ .....	141
TABELA 23 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 1 .....	146
TABELA 24 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 2.....	149

TABELA 25 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 1 .....	152
TABELA 26 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 2 .....	155
TABELA 27 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 1 .....	158
TABELA 28 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 2 .....	161
TABELA 29 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 1 .....	164
TABELA 30 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 2 .....	167

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
ASMT – Método Padrão Americano  
ATSDR – Agência de Subtóxicos e Registro de Doenças  
BEM – Biomassa – Energia - Materiais  
BRS – Bactérias Redutoras de Sulfato  
CEMIG – Companhia de Energia de Minas Gerais  
CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada  
CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental  
CPTI – Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais  
DA – Digestão Anaeróbia  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DD – Dificilmente Degradável  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
EPA – Agência Ambiental dos Estados Unidos  
EPI – Equipamento de Proteção Individual  
ERRA – Associação Europeia de Aproveitamento e Reciclagem  
FC – Fator de Capacidade  
FCA – Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu/SP  
FD – Facilmente Degradável  
GDL – Gás do Lixo  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IEA – Agência Internacional de Energia  
MD – Moderadamente Degradável  
NBR – Normas Brasileiras  
ND – Não Degradável  
OMS – Organização Mundial da Saúde  
PET – Poli (tereftalato de etileno)  
PEAD – Polietileno de Alta Densidade  
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PMI – Prefeitura Municipal de Itajubá  
PNDA – Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar  
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
PP – Polipropileno  
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
PVC – Poli (cloreto de vinila)  
RCC – Resíduos de Construção Civil  
RS – Resíduos Sólidos  
RSC – Resíduos Sólidos Comerciais  
RSD – Resíduos Sólidos Domésticos  
RSM – Resíduos Sólidos Municipais  
RSR – Resíduos Sólidos Rurais  
RSS – Resíduos de Serviço de Saúde  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SEMOP – Secretaria Municipal de Obras  
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
SPU – Serviço Público de Seattle  
SV – Sólidos Voláteis  
SVB – Sólidos Voláteis Biodegradáveis  
SVR – Sólidos Voláteis Refratários  
UGE – Unidade de Geração de Energia  
UNESP – Universidade Estadual Paulista  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

## RESUMO

**Gonçalves, A.T.T. (2007).** *Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos Domésticos e Comerciais do Município de Itajubá-MG.* Itajubá, 2007. 190p. Dissertação – Universidade Federal de Itajubá-MG.

Atualmente, o país enfrenta um duplo desafio na gestão adequada dos resíduos sólidos e na escassez de energia elétrica. Uma alternativa proposta como solução é gerar energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos. O município de Itajubá, localizado no sul de Minas Gerais, enfrenta sérios problemas quanto à destinação inadequada de seus resíduos. Para que o município se desenvolva de forma sustentável, é essencial que possua um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, que deve iniciar-se pela análise quali-quantitativa destes resíduos. Para efetuar a gestão adequada dos serviços de limpeza urbana e avaliar a implantação de uma coleta diferenciada, começa-se por caracterizar fisicamente os resíduos sólidos domiciliares e comerciais, o que constitui um dos objetivos do presente trabalho. A partir dos resultados obtidos nessa caracterização, realizou-se um estudo sobre a potencialidade energética dos resíduos sólidos domésticos e comerciais do município, utilizando o programa LandGEM (Versão 3.02), para avaliar a viabilidade da instalação de unidades de geração de energia no futuro aterro sanitário do município, criando-se dois cenários distintos. Pôde-se concluir que a implantação de tais unidades são viáveis mesmo considerando a pior situação.

**Palavras-chave:** caracterização física de resíduos sólidos; geração de energia elétrica; Itajubá-MG.

## ABSTRACT

**Gonçalves, A.T.T. (2007).** *Energetic Potentiality of the Domestic and Commercial solid waste of Itajubá - MG.* Itajubá, 2007. 190p. Dissertation - Federal University of Itajubá/MG.

Nowadays, Brazil faces a double challenge in the adequate management of the solid residues and in the electricity shortage. One alternative proposed to solve it, is to generate electric energy from the urban solid waste. The Itajubá city is located in the south of Minas Gerais, and faces serious problems with the inadequate destination of its residues. So that the city can develop in a sustainable way, it is essential that it has an adequate management of the solid wastes that must be initiated for the qualitative and the quantitative analysis of these residues. To effect the adequate management of the services of urban cleanness and to evaluate the implantation of a differentiated collect, it is started for characterizing the solid and commercial domiciliary residues physically, what it constitutes one of the objectives of the present work. From the results gotten in this characterization, a energy potentiality study was become of the domestic solid residues and commercial of the city, using the LandGEM program (Version 3.02), to evaluate the viability of the installation of units of generation of energy in the future landfill of the city, creating two distinct scenes. It could be concluded that the implantation of such units is viable same considering the worse situation.

**Keywords:** physical characterization of residues; power generator; Itajubá - MG.

## 1 – INTRODUÇÃO

A partir da revolução industrial, com a consolidação do capitalismo, os *resíduos sólidos* (RS) passaram a constituir um problema em todos os quadrantes do mundo.

Ao conseqüente processo de urbanização, que gerou grande concentração populacional em algumas cidades, aliou-se o consumo de produtos menos duráveis, originando um aumento significativo da quantidade e da diversidade desses resíduos.

Tal quadro exige de todos os municípios urgentes e adequadas medidas para gerenciar os *resíduos sólidos urbanos* (RSU), minimizando, assim, os impactos que possam causar ao meio ambiente, como enchente, poluição do ar, da água e do solo, deslizamentos de encostas, transmissão de doenças, entre outros.

Pesquisa do *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (IBGE, 2000b), indica a produção por dia de 125.281 toneladas de resíduos no Brasil no ano de 2000, sendo, em sua grande maioria, dispostos a céu aberto.

A ausência de áreas adequadas para a disposição final dos resíduos e a escassez de energia elétrica constituem-se dois dos problemas graves enfrentados pelo Brasil. Esses dois problemas podem ser significativamente minimizados por meio da geração de energia a partir dos resíduos sólidos e de outras fontes ecologicamente mais adequadas.

Embora haja potencial de aumento na geração de energia de fonte hidráulica, principal fonte do país, tornam-se imprescindíveis os investimentos em alternativas que atendam aos padrões internacionais de desenvolvimento sustentável, viabilizando o crescimento sócio-econômico.

Nesse contexto, devem ser priorizadas as fontes energéticas renováveis e menos poluentes, tais como a eólica, a solar, a biomassa e a proveniente do biogás.

Em 2002, foi criado pela Lei Federal 10.438 (BRASIL, 2002), o *Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica* (PROINFA), com intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de

produtores independentes autônomos, concebidos com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa no sistema elétrico interligado nacional. Este programa está sendo desenvolvido de forma que essas fontes de energia representem 10% da matriz energética nos próximos 20 anos.

O gás metano, combustível doméstico mais limpo e mais barato, praticamente inesgotável, pois é produzido em qualquer aterro sanitário ou esgoto submetido ao tratamento anaeróbio (além das jazidas naturais), apresenta-se aqui, como importante alternativa energética, com condições de desempenhar expressivo papel na substituição do petróleo e seus derivados.

A qualidade e a quantidade do biogás variam de acordo com a quantidade e a composição dos resíduos, tipos de resíduos, decomposição biológica, condições ambientais e a operação de aterros.

Atualmente, há vários estudos para utilizar o biogás como alternativa para gerar energia elétrica. Essa alternativa além de ser um enorme benefício para o setor elétrico, contribui também para reduzir as emissões de metano para a atmosfera.

### **1.1 – Justificativa**

O município de Itajubá, localizado no Sul de Minas Gerais, ocupa 290 km<sup>2</sup> de extensão territorial, tendo, segundo o Censo do IBGE (2000a), 84.135 habitantes. O município gera, por dia, aproximadamente 53 toneladas de resíduos sólidos domésticos e comerciais. Esses resíduos são atualmente destinados ao depósito de resíduos do município, até que haja a construção do aterro sanitário, prevista para 2008.

Neste trabalho, busca-se tratar estes resíduos sob a ótica de matéria-prima e fonte de recursos, dentre eles a energia, para um desenvolvimento social e econômico sustentável entre a natureza e o homem.

### **1.2 – Objetivos**

Neste trabalho, têm-se como objetivos:

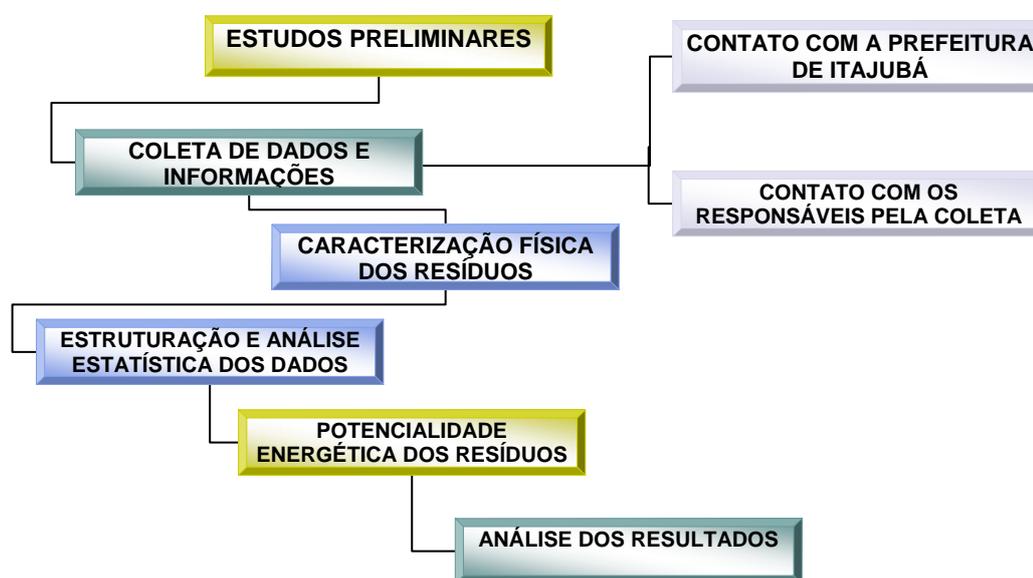
- Caracterizar fisicamente os resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá-MG.

- Estudar a potencialidade energética dos resíduos domiciliares e comerciais com estabelecimento de unidades de geração de energia elétrica no futuro aterro sanitário de Itajubá-MG.

### 1.3 – Estrutura do Trabalho

O presente estudo foi realizado de acordo com as etapas esquematizadas na FIGURA 1, a saber:

- 1°. Estudos preliminares.
- 2°. Coleta de dados e informações.
- 3°. Caracterização física dos resíduos.
- 4°. Estruturação e análise estatística dos dados.
- 5°. Potencialidade energética dos resíduos sólidos.
- 6°. Análise dos resultados.



**FIGURA 1 – Etapas de realização deste estudo**

Na primeira etapa, que deu origem ao primeiro capítulo da dissertação, foi feita uma revisão bibliográfica buscando conhecer o método utilizado para caracterizar fisicamente os *resíduos sólidos domésticos* (RSD) e os *resíduos sólidos comerciais* (RSC), as normas aplicadas aos *resíduos sólidos* (RS), os

estudos sobre técnicas e modelos matemáticos de geração de energia a partir dos resíduos sólidos, as alternativas de destino final adequado para esses resíduos e as principais pesquisas sobre caracterização, geração de energia e destino adequado dos RSD e RSC, publicadas nos últimos anos.

A revisão bibliográfica foi realizada com base em consultas às normas da *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT), a artigos publicados em revistas, anais e meios eletrônicos sobre a caracterização física, a potencialidade energética e as alternativas para o adequado destino dos RSD e RSC e, também, a vários livros.

A segunda etapa consistiu em pesquisa sobre os dados da cidade de Itajubá, da situação atual dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município, destacando-se a quantidade produzida diariamente, como é feita a coleta e qual o destino dos resíduos. Essas informações foram relatadas no segundo capítulo.

Após essas etapas, realizou-se a terceira etapa, na qual se fez a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá utilizando o método de MARTINS et al. (s/d) adaptado pelo *Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais* (CETEC, 2006).

Foi realizada, na quarta etapa, a análise estatística dos dados no Microsoft<sup>®</sup> Excel, bem como foram elaborados gráficos e tabelas para a apresentação dos resultados.

A quinta etapa, apresentada no capítulo intitulado *Desenvolvimento Metodológico*, consistiu no estudo da potencialidade energética dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais do município de Itajubá, utilizando o programa LandGEM – Versão 3.02 (EPA, 2005).

Na sexta etapa, que deu origem ao último capítulo, os resultados da caracterização foram analisados, primeiramente, por setor e, posteriormente, por meio de comparação com as informações coletadas sobre a caracterização física do Brasil (1999) e do município de Itajubá do ano de 1997, que não forneceram metodologias de amostragem, e a caracterização realizada no município em 2003.

Ainda, nessa etapa, também foram analisados os resultados da estimativa da geração de energia para cada situação considerada, assim como, analisados os custos e as receitas para a situação otimista e pessimista do cenário energético considerado para o futuro aterro sanitário de Itajubá, visando à identificar a viabilidade da implantação de *unidades de geração de energia* (UGE) nesse aterro.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são definidos, conforme a NBR 10004 – Resíduos sólidos: classificação (ABNT, 2004a), como

“resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço 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.”

Segundo TEIXEIRA et.al.\* apud BIDONE (1999), essa definição é muito ampla e equivocada ao incluir líquidos como resíduos sólidos. De acordo com o autor (op.cit.), a norma poderia incluir os líquidos juntamente com os RS para efeito de tratamento e disposição, mas não simplesmente defini-los como resíduos sólidos.

Além dessa definição, existem outras como a de D’ALMEIDA & VILHENA (2000): “resíduos sólidos são os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis”.

Resíduo sólido pode ser definido, ainda, de acordo com BIDONE (1999) como sendo “todo e qualquer resíduo resultante das atividades diárias do homem na sociedade, ou como sendo aqueles que não têm valor para alguma pessoa, no tempo errado e no local errado”.

---

\* TEIXEIRA, E.N. et.al. (1991). *Revisão crítica das normas sobre resíduos sólidos: 1ª parte*. Saneamento ambiental, set./out. apud BIDONE, F.R.A., org. (1999). *Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem, e reutilização de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, ABES.p.15.

A *Organização Mundial da Saúde* (OMS) define resíduo sólido como “qualquer coisa que o proprietário não quer mais, em um certo local e em um certo momento, e que não apresenta valor comercial corrente ou percebido” (OMS, 2003).

Os *resíduos sólidos municipais* (RSM) são aqueles gerados dentro de um município, podendo ser subdivididos em *resíduos sólidos urbanos* (RSU) e *resíduos sólidos rurais* (RSR).

Segundo LIMA (1995), existe uma grande dificuldade em se definir os RSU, pois sua origem e sua formação dependem de muitos fatores, como variações sazonais, condições climáticas, hábitos e costumes, variações na economia etc.

Os resíduos sólidos urbanos podem ser constituídos por resíduos domésticos, comerciais e industriais, resíduos de varrição e os provenientes de serviços. Por serviços, podem ser entendidos limpeza de bocas de lobo e galerias, canalizações e órgãos acessórios da rede coletora de esgoto, limpeza e poda de praças e jardins, além da coleta de resíduos de produção transiente (carcaça de animais, móveis abandonados nas vias públicas, resíduos provenientes de campanhas de limpeza etc.), entre outros, todos juntos ou apenas alguns destes (BIDONE, 1999).

A composição do RS que chega ao aterro sanitário pode variar de acordo com a época, a cultura, o poder aquisitivo da população, o serviço de coleta realizado e outros fatores.

### **2.1.1 – Classificação dos resíduos sólidos**

A classificação e a caracterização dos RS dependem do objetivo desejado. Se a intenção é conhecer a sua composição, é comum utilizar-se das expressões doméstico, comercial, industrial, serviços de saúde e especiais. Caso seja, a biodegradabilidade, a classificação usual, segundo LIMA (s/d) é:

- *Facilmente degradáveis (FD)*: restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos e excrementos;
- *Moderadamente degradáveis (MD)*: metal ferroso, papel, papelão e outros produtos celulósicos;
- *Difícilmente degradáveis (DD)*: trapo, couro, pano, madeira, borracha, cabelo, pena de galinha, osso, plástico;
- *Não degradáveis (ND)*: metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica.

De acordo com BIDONE & POVINELLI (1999), se o objetivo for buscar a viabilidade da incineração, a classificação utilizada é combustível e não combustível. Se for o de buscar a viabilidade para a reciclagem há duas classificações: uma por tipo de material (plástico, vidro, metal, papel, matéria orgânica e outros) e outra, mais genérica, que é: reciclável, descartável e perigoso. Ainda, para saber o cuidado necessário para sua disposição: perigosos (classe I), não perigosos (classe II), não inertes (classe II A) e inertes (classe II B). Para esta classificação é necessário consultar as normas da ABNT: NBR 10004 (ABNT, 2004a), NBR 10005 (ABNT, 2004b), NBR 10006 (ABNT, 2004c) e NBR 10007 (ABNT, 2004d).

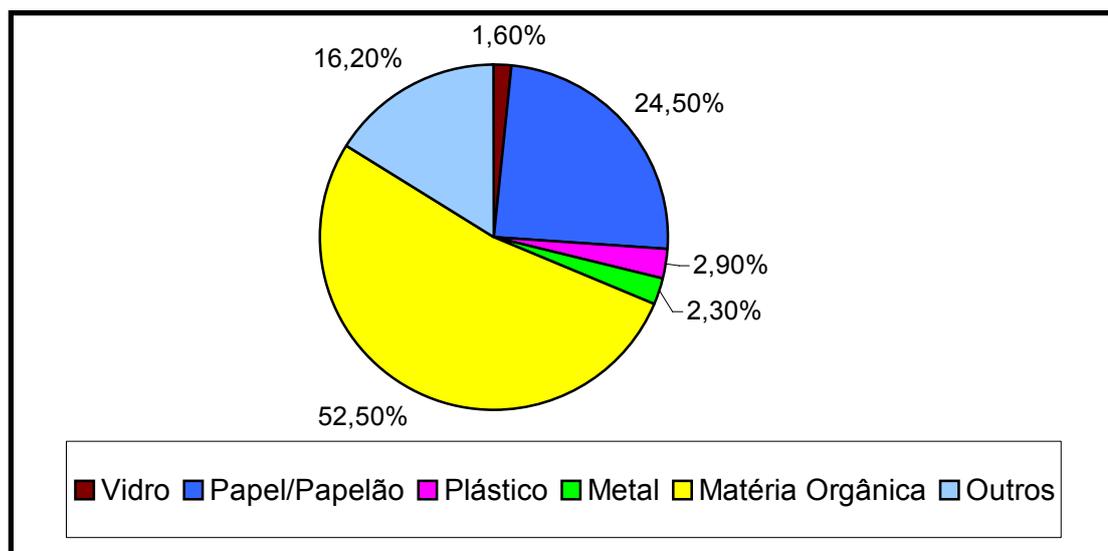
D'ALMEIDA & VILHENA (2000) ainda classificam os resíduos sólidos em putrescíveis, recicláveis e combustíveis, somando as porcentagens individuais dos vários componentes, de acordo com as informações contidas na TABELA 1.

**TABELA 1 – Componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis dos RSD**

<b>Componente</b>	<b>Putrescível</b>	<b>Reciclável</b>	<b>Combustível</b>
Borracha		X	X
Couro	X		X
Madeira	X	X	X
Matéria Orgânica	X	X	
Metais ferrosos		X	
Metais não ferrosos		X	
Papel	X	X	X
Papelão	X	X	X
Plástico duro		X	X
Plástico – filme		X	X
Trapos		X	X
Vidro		X	
Outros materiais			

*Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA (2000)*

A composição física dos resíduos sólidos é obtida pela triagem, separando-se os materiais por classes, como vidro, papel/papelão, plástico, metal, matéria orgânica e outros. Na FIGURA 2, é mostrado um exemplo de caracterização dos RSD realizada no Brasil, em 1999, por PHILLIPI JÚNIOR (1999).



**FIGURA 2 – Composição percentual média dos RSD no Brasil.**

Fonte: PHILIPPI JÚNIOR (1999)

### 2.1.2 – Reduzir, Reutilizar e Reciclar (3 R's)

O acondicionamento, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição inadequada dos RS constituem um grande problema ambiental e sanitário.

O investimento de um município para solucionar o problema dos RS proporciona uma série de vantagens econômicas e sociais como:

- melhoria das condições ambientais e de saúde pública do município;
- diminuição de gastos com remediação de áreas degradadas pelo mau acondicionamento dos resíduos sólidos;
- educação/conscientização ambiental da população;
- geração de empregos diretos e indiretos;
- resgate social de indivíduos (catadores); entre outros.

A alternativa que deve ser tomada pelos municípios para equacionar os problemas relacionados a esses resíduos é a adoção de um gerenciamento integrado, que consiste, conforme BIDONE (1999),

“num conjunto de ações que envolvem desde a geração dos resíduos, seu manejo, coleta, tratamento e disposição, dando a cada tipo de resíduo atenção especial, ou seja, o tratamento e a disposição mais adequado, baseando-se, sempre, no conceito da minimização e buscando a ausência de resíduos para disposição final.”

A minimização é obtida através da redução na fonte, da reutilização e da reciclagem, diminuindo, desta forma, a quantidade de resíduos gerada e que deve ser disposta apropriadamente, bem como, seu potencial de contaminação (TEIXEIRA et al.,1997).

A redução na fonte e/ou origem é a redução de resíduos a partir de sua não geração. Essa redução se faz por meio de alterações de hábitos, processos e/ou materiais, ou ainda, pelas opções do consumidor na aquisição de produtos.

A reutilização consiste no aproveitamento de certos materiais após o uso original. É o caso das embalagens, sobretudo de comestíveis, que, após vazias, passam a servir de recipientes para fins diversos.

A reciclagem significa trazer de volta ao ciclo produtivo, de forma artesanal ou industrial, materiais que foram descartados, empregando-os na fabricação de novos objetos, possibilitando que materiais considerados resíduos para o gerador passem a ser matérias-primas secundárias para outros indivíduos e para a sociedade como um todo.

O processo de reciclagem, como supracitado, pode ser realizado de forma artesanal ou industrial. A forma artesanal é utilizada em pequenas quantidades de materiais para fins educativos e artísticos. Já a reciclagem de grandes quantidades de materiais, normalmente, é realizada em instalações industriais.

Os materiais considerados potencialmente recicláveis são, principalmente, metal, vidro, papel/papelão e plástico. Para a reciclagem de cada um deles, há processos tecnológicos específicos.

Após a separação dos materiais recicláveis dos resíduos sólidos domésticos e comerciais, resta, essencialmente, material orgânico, que pode ser processado para se tornar um composto orgânico, através da compostagem.

A compostagem é um processo microbiológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal, sob condições adequadas, de forma a obter um composto orgânico que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem causar danos ao meio ambiente (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000), podendo ser considerado como um processo de reciclagem da matéria orgânica (FIGURA 3).

A vermicompostagem é um tipo de compostagem na qual se utilizam minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação e melhorando o arejamento e a drenagem do material em fase de maturação. Esse processo possui dois estágios: primeiro, a matéria orgânica é compostada de

acordo com os padrões normais, em função da variante de processo utilizada, com redução de microrganismos patogênicos e retorno à condição de temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, para não se aquecer demasiadamente e não se compactar, pois os materiais de granulometria fina têm essa tendência. Faz-se, então, a inoculação das minhocas e, 60 a 90 dias após, obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento na disponibilização de macro e micronutrientes e a formação de um húmus mais estável (BIDONE, 2001).



**FIGURA 3 – Matéria orgânica em cestos de compostagem**

*Fonte: SILVA et al. (2002)*

É importante ressaltar que a implantação de programas de reciclagem não descarta as ações de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos.

### **2.1.3 – Tipos de coleta e alternativas para o destino adequado dos resíduos sólidos**

Os resíduos sólidos podem ser coletados de forma:

- Comum – quando os resíduos são coletados todos misturados;

- Diferenciada – quando os resíduos são coletados segundo sua fonte geradora (doméstico, comercial, industrial, serviços de saúde e especiais);
- Seletiva – quando são coletados de acordo com o tipo de material (plástico, vidro, metal, papel, matéria orgânica e outros).

Após coletados, os resíduos podem ser encaminhados para tratamento ou disposição final. Comumente são incinerados ou destinados ao aterro. O processo de incineração é antigo e o mais empregado para o tratamento térmico de resíduos sólidos municipais e de serviços de saúde. A incineração consiste na combustão de materiais em alta temperatura (geralmente acima de 900°C), em mistura com uma quantidade apropriada de ar e durante um tempo pré-determinado (BIDONE, 1999).

As alternativas de disposição final dos resíduos sólidos são:

- **Lixão** – uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem qualquer tratamento (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000).
- **Aterro controlado** – “é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, utilizando alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho” (ABNT, 1985).
- **Aterro sanitário** – “é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário” (ABNT, 1992).

#### **2.1.4 – Caracterização física dos resíduos sólidos**

Para iniciar um projeto que envolva coleta, reciclagem e/ou tratamento, é importante avaliar quali-quantitativamente o perfil dos resíduos sólidos gerados em diferentes pontos da região em questão. A partir dessa análise, é possível a identificação de alterações do perfil dos resíduos num mesmo município, devido à variações em atividades econômicas, níveis sociais, questões culturais, entre outros.

Dos grupos de características dos resíduos (físicas, químicas e biológicas), o mais importante é o das características físicas, uma vez que, sem seu conhecimento, é praticamente impossível se efetuar a gestão adequada dos serviços de limpeza urbana bem como da implantação da coleta diferenciada.

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004a), os resíduos sólidos podem ser caracterizados fisicamente por:

- Geração *per capita*;
- Composição gravimétrica;
- Peso específico aparente;
- Teor de umidade;
- Compressibilidade.

Desses, os três primeiros têm fundamental importância para o planejamento da implantação da coleta diferenciada e seu estudo facilita e fornece credibilidade ao planejamento desse sistema.

A composição gravimétrica dos resíduos constitui-se na determinação dos materiais presentes no lixo e do percentual em que os mesmos ocorrem. Refere-se às porcentagens das várias frações do lixo, tais como papel, papelão, plástico mole, plástico duro, PET, metal ferroso, metal não ferroso, vidro, matéria orgânica e outros.

A geração *per capita* dos resíduos constitui-se na determinação de quanto de lixo é gerado por habitante num período de tempo especificado.

O peso específico aparente é o peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações necessários à coleta seletiva.

É importante considerar, ao se realizar a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais, que estes podem variar suas características ao longo do seu percurso, até seu destino final, bem como ao longo do tempo.

Antes de iniciar a caracterização, faz-se necessária a realização de um estudo detalhado sobre o sistema de limpeza pública do município em questão. Tal estudo busca conhecer o número de setores de coleta, frequência da coleta, características dos veículos coletores, distância dos locais de tratamento e de disposição final e quantidade de resíduos gerada.

A partir desses dados, é possível definir o número total de amostras para caracterizar fisicamente os resíduos sólidos.

O ponto do processo em que as amostras deverão ser coletadas será determinado pelo objetivo da análise. Por exemplo, se o objetivo for o dimensionamento da frota, a amostragem deverá ser executada como o lixo se apresenta para a coleta, em suas condições naturais. Caso a análise vise à obtenção do parâmetro físico poder calorífico, a amostra poderá ser coletada após a chegada dos caminhões no aterro sanitário.

Caso não seja possível a amostragem em todos os setores de coleta existentes, o que se faz é agrupá-los, utilizando-se fatores tais como características das edificações, densidade populacional, poder aquisitivo, costumes da população e tipo de acondicionamento dos resíduos.

Definido o número de amostras e os pontos de amostragem, inicia-se a amostragem propriamente dita.

A seguir são apresentadas algumas metodologias de caracterização física dos resíduos sólidos, tanto nacionais quanto internacionais e é feito um breve comentário acerca de sua utilização.

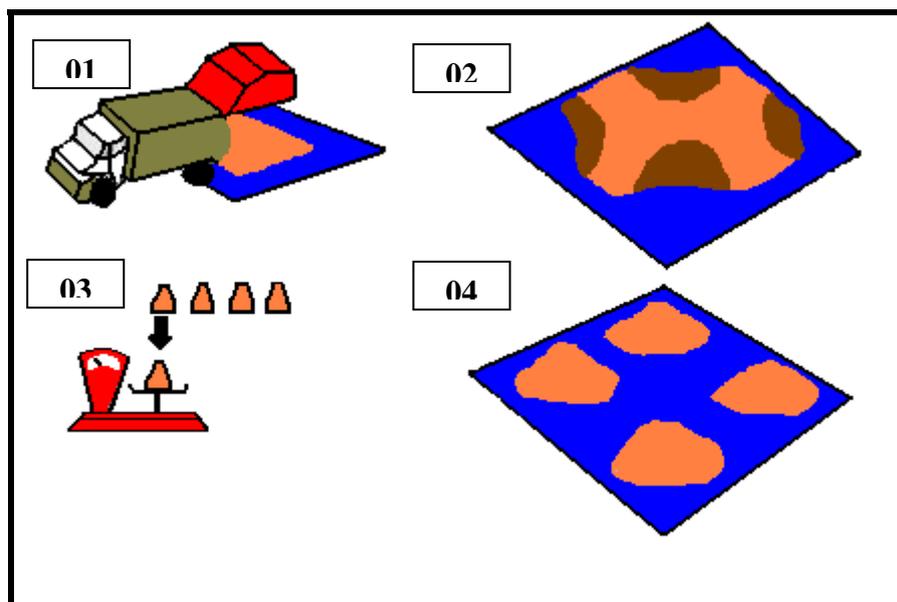
#### **2.1.4.1 – Metodologias nacionais**

- **Método de CETESB\* apud D'ALMEIDA & VILHENA (2000)**

Para analisar a composição física dos resíduos sólidos, a *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB* (apud D'ALMEIDA & VILHENA, 2000) recomenda o procedimento de amostragem apresentado na FIGURA 4 e descrito em seguida.

---

\* COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) (1990). *Resíduos sólidos urbanos e limpeza pública*. São Paulo. apud D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A.; coord. (2000). *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2 ed. São Paulo, IPT/CEMPRE. p. 32-40.



**FIGURA 4 – Amostragem para análise da composição física**

Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA apud CETESB (1990)

- 1) Descarregar o caminhão ou caminhões no local previamente escolhido (pátio pavimentado ou coberto por lona);
- 2) Coletar quatro amostras de 100 litros cada (utilizar tambores), três na base e laterais e uma no topo da pilha resultante da descarga. Antes da coleta, procede-se ao rompimento dos receptáculos (sacos plásticos, em geral) e homogeneiza-se, o máximo possível, os resíduos nas partes a serem amostradas. Ainda, considerar os materiais rolados (latas, vidros, etc.). Caso a quantidade inicial de lixo seja pequena (menos que 1,5 t), recomenda-se que todo material seja utilizado como amostra;
- 3) Pesar os resíduos coletados;
- 4) Dispor os resíduos coletados sobre uma lona. Este material constitui a amostra, a ser utilizada para a análise da composição física dos resíduos.

Tal procedimento utiliza o método do quarteamento, que segundo a NBR 10007 (ABNT, 2004d) consiste em um “processo de divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado”. Ainda, de acordo com essa norma, como existe risco à saúde do trabalhador, é necessário o uso de *equipamentos de proteção individual (EPI)*.

Esses passos devem ser realizados para cada setor, ou seja, para cada conjunto de bairros do município agrupados de acordo com o nível sócio-econômico.

A composição física dos resíduos é obtida após a análise da amostra, por meio da triagem, separando os materiais por classes relevantes como vidro, plástico, papel/papelão, matéria orgânica, metais ferrosos, metais não ferrosos.

Separado os materiais, eles são pesados por classe e calculam-se, posteriormente, as porcentagens individuais, conforme eq. (1).

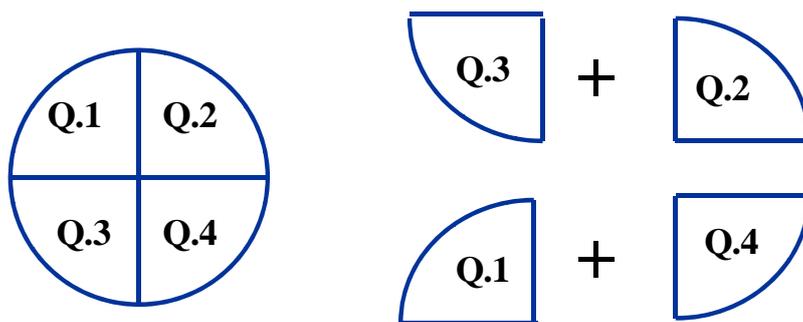
$$\text{Material (\%)} = \frac{\text{massa da fração material (kg)}}{\text{massa total da amostra (kg)}} \times 100 \quad (1)$$

- **Método de MARTINS et.al (s/d)**

Para a caracterização qualitativa e quantitativa dos RSU em cidade de porte médio, MARTINS et.al (s/d) propõe que a pesquisa seja realizada em três fases, correspondendo, no Brasil, a estações chuvosa (novembro/março); fria (abril/julho); e quente/seca (agosto/outubro). Em cada fase, deverão ser realizados os seguintes procedimentos:

- 1) Coletar e analisar, no mínimo, 4 amostras de, aproximadamente, 7m<sup>3</sup> cada, recolhidas, respectivamente, no centro comercial e em bairros predominantemente residenciais de população operária, de classe média (comerciários, funcionários, prestadores de serviço autônomo, etc.) e média-alta (comerciantes, profissionais autônomos de nível superior, industriais, etc.), bairros esses a serem previamente identificados e selecionados de comum acordo com a equipe da Prefeitura.
- 2) Antes de iniciar a coleta das amostras, a tara do caminhão deverá ser aferida e devidamente registrada em formulário próprio (ANEXO A), através de sua pesagem na mesma balança a ser utilizada durante a realização dos trabalhos, sem nenhuma carga e, inclusive, sem o motorista e os ajudantes.
- 4) Ao completar-se a coleta da amostra, o caminhão deverá ser coberto com lona, de modo a impedir o derramamento de resíduos nas vias públicas, e dirigir-se para pesagem.
- 5) Após a pesagem, o caminhão deverá dirigir-se imediatamente para o local definido para a realização da triagem, para descarga dos resíduos coletados.

6) Após a descarga (a ser feita com o possível cuidado, no sentido de se evitar o rompimento dos sacos de lixo), revolver os resíduos, ainda acondicionados, quarteá-los, mesclá-los entre si, dois a dois (FIGURA 5), e, novamente, revolvê-los conjuntamente, procedendo-se, após isso, a novo quarteamento:



**FIGURA 5 – Quarteamento dos resíduos coletados**

*Fonte: MARTINS et.al.(s/d)*

7) Depois desse procedimento, desensacar e revolver os resíduos componentes de cada quartil, com auxílio de pás, enxada e gadanhos. Feito isto, novamente os quartis devem ser mesclados entre si, dois a dois (conforme sistemática descrita no item 6) e conjuntamente, após o que se deverá proceder ao quarteamento final.

8) Selecionar, dois quartis opostos (1 e 4; ou 2 e 3) para a etapa de triagem (qualitativa) e classificação (quanti-qualitativa). Descartar os dois quartis não selecionados.

9) Feita a triagem e a classificação dos materiais dos dois quartis selecionados, (conforme os grupos e tipos discriminados no formulário constante do ANEXO A), pesar os materiais com uso de balança, após sua deposição nos tambores.

10) Todas as atividades supracitadas devem ser acompanhadas por um coordenador da equipe de campo, profissional esse que deverá se incumbir do lançamento dos dados da caracterização dos resíduos no formulário próprio (ANEXO A).

11) Os trechos de bairros abrangidos diretamente pela pesquisa, isto é, correspondentes às amostras de RSU coletadas em cada fase da pesquisa, deverão ser descritos quanto às suas características populacionais e sócio-econômicas.

Na caracterização populacional deverão ser estabelecidas:

- População residente/usuária estimada, a saber: {[n° de domicílios x n° médio de componentes das famílias, conforme último censo], [n° de estabelecimentos comerciais ou de serviços x (n° médio de usuários/dia + n° de funcionários, estabelecido por pesquisa direta)]};
- Densidade típica relativa de ocupação do espaço urbano: densa, média, ou rarefeita;
- Tipo(s) de uso do espaço urbano predominante(s): residencial, comércio/serviços, misto (residencial + comércio/serviços) ou industrial;
- A eventual existência, nos trechos em que foi recolhida cada amostra, de unidades geradoras de resíduos sólidos especiais e/ou em grandes volumes (hospitais e assemelhados, mercados e feiras públicos, supermercados, “sacolões”, escolas, indústrias, etc.).

O autor (op.cit.) prossegue afirmando que

“na caracterização sócio-econômica deverá ser estabelecida, a categoria de renda aparente da população residente/usuária predominante de cada trecho pesquisado (proletária, média, média/alta, alta), com base em informações obtidas junto à administração municipal e na observação direta das edificações e de seu entorno (estabelecimentos comerciais, veículos estacionados, pedestres, pavimentação e conservação das vias e calçadas, etc.).”

Para isso um funcionário deverá acompanhar, no próprio caminhão coletor, o recolhimento de cada amostra, registrando, em formulário próprio (ANEXO B),

- a) o nome da rua/logradouro e o número da edificação em frente à qual se iniciou a coleta da amostra;
- b) todo o itinerário (sentido de conversão, nomes de ruas/logradouros e número de quadras percorridas em cada caso) seguido durante a coleta da amostra;
- c) o nome da rua/logradouro e o número da edificação em frente à qual se completou o recolhimento da amostra.

Posteriormente, dois funcionários deverão deslocar-se de novo para o trecho de bairro correspondente a cada amostra, de modo a registrar:

- a) o número de moradias existentes de cada lado de cada trecho de rua percorrido durante a coleta da amostra (se tratar de habitação coletiva, investigar o número de apartamentos existentes e ocupados, caso a caso);
- b) o número de edificações comerciais e/ou de prestação de serviços existentes em cada trecho de rua, caracterizando, por pergunta direta ao responsável pela

edificação encontrado no momento da investigação, o tipo de atividade desenvolvida, o número de funcionários e o número médio de usuários/dia (cliente, ou fregueses), caso a caso;

- c) a ocorrência de edificações e/ou instalações geradoras de resíduos especiais e/ou em grandes volumes, trecho a trecho de cada rua percorrida, caracterizando a(s) atividade (s) desenvolvida (s), caso a caso; e, tanto quanto seja possível, o volume médio (estimativo) de RSU gerados por dia, igualmente caso a caso;
- d) a categoria sócio-econômica aparente da população residente/usuária, caso a caso.

- **Método de CETEC (2006)**

Para analisar a composição física dos resíduos sólidos, CETEC (2006) propõe a metodologia de MARTINS et.al. (s/d) com as algumas adaptações:

- 1) Coletar amostras de aproximadamente 6 m<sup>3</sup> de resíduos, a partir de lixo não compactado (lixo solto);
- 2) Pesar o caminhão vazio imediatamente antes de se iniciar o recolhimento das amostras, sem qualquer carga e, inclusive, sem o motorista e os ajudantes;
- 3) Pesar o caminhão cheio logo após o recolhimento das amostras, sem o motorista e os ajudantes;
- 4) Descarregar a amostra sobre uma lona plástica “tipo terreiro” evitando o rompimento dos sacos de lixo;
- 5) Revolver toda a amostra sem o rompimento dos sacos de lixo;
- 6) Quartear a amostra e selecionar dois quartis opostos (1 e 4 ou 2 e 3), sendo os outros dois descartados;
- 7) Repetir o procedimento acima, até obter um volume de, aproximadamente, 1,5 m<sup>3</sup>;
- 8) Dispor os resíduos coletados sobre uma lona.

Esse material constitui a amostra, a ser utilizada para a análise da composição física dos resíduos. Esses passos devem ser realizados para cada setor.

A composição física dos resíduos é obtida após a análise da amostra, por meio da triagem, separando os materiais por classes como: matéria orgânica (restos de alimento e restos de podas), papel/papelão, plásticos (moles, duros e PET), metais (ferrosos, não ferrosos e alumínio), vidros, trapos e outros.

Separados os materiais, estes são pesados por classe e calculando-se, posteriormente, as porcentagens individuais, conforme a eq. (1).

Os resultados são anotados no formulário próprio constante no ANEXO A.

- **Método de LEME & JÓIA (s/d)**

Segundo LEME & JÓIA (s/d), a técnica mais significativa para analisar os RSD de um município é a técnica de amostragem por residência, que consiste em selecionar um número representativo de moradias a serem analisadas. A cidade deverá ser dividida em setores para a distribuição das amostras. Para cada setor deverão ser feitas coletas em um único mês, de forma que cubra o período de sazonalidade da produção no inverno e no verão e em meses de férias escolares. Após a seleção das residências, cada uma deverá ser visitada em horários adequados, com um ou dois dias de antecedência da coleta, quando deverá ser entregue ao morador sacos plásticos para o armazenamento dos resíduos.

No dia da coleta, as amostras serão coletadas e identificadas com etiquetas contendo o endereço da residência, o número de pessoas que residem na casa e a quantidade de dias de produção da amostra. Com as amostras já identificadas e registradas, estas serão transportadas para um local adequado. Para a caracterização física, será utilizada uma balança de precisão, máscaras e luvas resistentes e planilha para a anotação dos resultados. Primeiramente, as amostras serão pesadas e será anotado o peso total da amostra. Em seguida, a amostra será aberta e serão espalhados os resíduos, para agrupá-los de acordo com a seguinte tipologia: matéria orgânica (restos de comida, vegetais e folhas); recicláveis (papel, plástico, metal e vidro); rejeitos (lixo de banheiro, de varrição e fraldas descartáveis); outros (tecidos, cerâmica, madeira, borracha e lâmpadas). Os diferentes tipos de resíduos serão pesados separadamente e os resultados anotados na planilha.

A análise da caracterização física deverá ser feita amostra por amostra, sendo realizada da mesma forma em todos os setores da cidade. Originar-se-ão, dessa análise, os seguintes resultados: total de resíduos produzidos diariamente por amostragem no setor; composição percentual por tipos de resíduos produzidos diariamente no setor; produção *per capita* de resíduos produzidos diariamente no setor; produção média diária por domicílio no setor.

- **Método de OLIVEIRA (1999)**

Para analisar a composição física dos resíduos sólidos, OLIVEIRA (1999) recomenda a metodologia de LEÃO (comunicação pessoal, 1997 – FCA/UNESP) com algumas adaptações:

- 1) Definir o número de amostras e os pontos de amostragem (O número de setores onde serão coletadas as amostras será escolhido em função da maior concentração populacional, fonte geradora e nível sócio-econômico.
- 2) Descarregar o conteúdo do caminhão em local determinado;
- 3) Moldá-lo em forma de uma leira quadrada, com volume relativo à capacidade do caminhão;
- 4) Dividir a leira em 16 quadrantes com volume de 1 m<sup>3</sup> cada;
- 5) Escolher, aleatoriamente, dois quadrantes representativos;
- 6) Retirar, manualmente, os resíduos dos quadrantes da leira e colocar sobre uma lona plástica preta;
- 7) Romper os sacos de acondicionamento dos resíduos, manualmente;
- 8) Realizar a triagem dos materiais conforme o tipo, separando-os em material inorgânico – Papel/Papelão, Metal (alumínio e aço), Plástico (filme, PET, PEAD, PVC, PEBD, PP e outros), Vidro, Têxteis, Embalagens longa vida) –, matéria orgânica e outros, sendo os materiais acondicionados em caixas de plástico duro, com tara conhecida;
- 9) Pesar o material por tipo e posteriormente fazer a porcentagem em peso (base úmida).

#### **2.1.4.2 – Metodologias internacionais**

- **Metodologia de Portugal\* apud CRUZ (2005)**

A Metodologia de Portugal (DGQA) tem como alvo de estudo da caracterização física, os RS, incluindo os produzidos nas zonas rurais, urbanas e

---

\* PORTUGAL (1989). DGQA (*Documento Técnico nº1 – Resíduos Sólidos Urbanos; Quantificação e Caracterização; Metodologia*. Direção Geral da Qualidade do Ambiente e Direção de Serviços de Resíduos e Produtos Químicos. apud CRUZ, M.L.F.R. (2005). *A caracterização de resíduos sólidos no âmbito da sua gestão integrada*. Braga. Dissertação (Mestrado) – Escola de Ciências, Universidade do Minho (Portugal). p 32.

comerciais. Para quantificar e analisar o peso específico e a composição física dos resíduos coletados, esta metodologia recomenda o seguinte procedimento:

- 1) Coleta de dados e informações – buscar conhecer todo o sistema de limpeza urbana do município analisado, como a quantidade produzida de resíduos, a frequência e os dias da semana da coleta e o tipo de ocupação das áreas atendidas pela coleta;
- 2) Período de Amostragem – recomenda-se para as áreas urbanas: 3ª semana de Janeiro, Abril, Julho e Outubro e para as áreas rurais: 3ª semana de Janeiro e Julho, não podendo repetir dias da semana e coletar amostras em dias atípicos, como em datas comemorativas, férias, etc;
- 3) Descrever os setores onde é realizada a coleta de resíduos e tentar agrupar os mais representativos de cada tipo (urbanos, rural etc.);
- 4) Definir oito componentes sem subcategorias;
- 5) Amostragem:
  - Seleção das amostras – constituir o menor número possível de setores com características semelhantes; coletar amostras em cada um destes setores, em proporção à contribuição quantitativa de cada setor no município.
  - Coleta das amostras – setor de uma volta: coleta do conteúdo dos recipientes alternados; setor de duas voltas: coleta do conteúdo de um recipiente para cada quatro; setor de três voltas: coleta do conteúdo de um recipiente para cada seis. O volume de cada amostra é de 2 a 3,5 toneladas.
  - Número de Amostras – município urbano: 24/ano; município rural: 10 a 12/ano, se a coleta for cinco a seis vezes por semana, caso contrário, 6 a 8/ano.
- 6) Pesar os resíduos coletados;
- 7) Quartear a amostra de resíduos coletados (2-3,5 toneladas);
- 8) Pesar a amostra quarteada e tarar os recipientes;
- 9) Separar manualmente os componentes da amostra e pesar;
- 10) Analisar os dados.

• **Método Padrão Americano (American Standard Methods - ASMT)**

O Método Padrão Americano (ASMT), de acordo com CRUZ (2005), tem por objetivo estudar os RSM não processados, ou seja, os RSU indiferenciados, coletados nas residências, comércio, instituições, escritórios. Para analisar a

composição física dos resíduos urbanos, o potencial de redução na geração e de reciclagem, as variações sazonais e geográficas, os resíduos domésticos *versus* os resíduos comerciais, essa metodologia adota o seguinte procedimento: 1) Coleta de dados e informações sócio-econômicas do município, em questão, e do seu sistema de limpeza urbana;

2) Período de amostragem – de uma a duas semanas consecutivas, de cinco a sete dias por semana, repetindo a amostragem por vários meses devido às variações sazonais.

3) Definir oito categorias e doze componentes;

4) Amostragem:

- Definição estatística do número de amostras, por fórmula de cálculo da ASTM;
- Seleção aleatória dos veículos de coleta.

5) Após a coleta, a amostra é quarteada até obter 90-140 kg;

6) Separam-se manualmente os componentes individuais da amostra;

7) Análise laboratorial dos resíduos;

8) Análise dos resultados obtidos.

**• Método da Associação Européia de Aproveitamento e Reciclagem (European Recovery and Recycling Association – ERRA) (ERRA, 1993)**

Esse método tem como alvo os RSD. Os objetivos são caracterizar qualitativa e quantitativamente os resíduos, avaliar o potencial de reciclagem e aumentar a eficiência da coleta seletiva. As etapas dessa metodologia são:

1) Coletar informações do município e do sistema de limpeza urbana, como número e o tipo de habitações no setor de coleta, tipo de sistema de coleta utilizado, entre outros;

2) Período de Amostragem – periodicidade trimestral: março, junho, setembro, dezembro ou, no mínimo, duas análises semestrais em março e setembro;

3) Definir os componentes (metais, vidro, plástico, papel e cartão);

4) Amostragem:

- O tamanho da amostra selecionada será em função do número de habitações do setor e o grau de confiança desejado;
- O número de amostra será determinado estatisticamente.

5) Após a coleta, a amostra é quarteada até obter entre 100-200 kg;

6) Posteriormente, são realizadas a triagem e a classificação, conforme os componentes e sub-componentes definidos;

7) Analisam-se dos dados da composição física, da umidade e do peso específico dos resíduos coletados.

- **Método de MAYSTRE et. al\* apud CRUZ (2005)**

O enfoque dessa metodologia são os RSD. Para analisar a composição física desses resíduos, recomenda-se o seguinte procedimento:

- 1) Coletar as informações sócio-econômicas da população e do sistema de limpeza urbana do município em estudo;
- 2) Definir o período de amostragem – *Pré-campanha* (escolha da quantidade mínima representativa de amostras a caracterizar): 1 semana; *Campanha de identificação*: 4 semanas por trimestre e *Campanha complementar*. 2 semanas;
- 3) Proceder ao ensaio-piloto, para aferir quais as classes de categorias a considerar na classificação e para estudar os estratos urbanos em função da quantidade de resíduos produzidos;
- 4) Definir as medidas de higiene e segurança;
- 5) Organizar os procedimentos e as instalações para a triagem;
- 6) Amostragem:
  - Cálculo da quantidade mínima representativa de amostras;
  - Método de seleção aleatório: estratos homogêneos – aproximação aleatória simples; estratos heterogêneos – aproximação aleatória estratificada, primeiro divide-se a população em grupos e depois escolhe-se, em cada estrato, uma amostra aleatória simples;
  - Coleta das amostras: Pré-campanha – 2 toneladas, Campanha de Identificação – 11 toneladas por trimestre e Campanha complementar – 5 toneladas.
  - Número de amostras: coleta bi-semanal: 800-1000 kg em duas amostras de 400-500 kg em ambos os dias da semana; coleta tri-semanal: 900-1200 kg em três amostras de 300-400 kg nos três dias da semana; coleta semanal: 600-700 kg.
- 7) Após a coleta da amostra, descarregar o caminhão no local previamente definido;
- 8) Coletar uma amostra de 100 kg;

---

\* MAYSTRE, L.Y.; DUFLON, V. (1994). *Déchets Urbains: nature et caractérisation*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse. apud CRUZ, M.L.F.R. (2005). *A caracterização de resíduos sólidos no âmbito da sua gestão integrada*. Braga. Dissertação (Mestrado) – Escola de Ciências, Universidade do Minho (Portugal). p 35.

- 9) Pesar cada saco de resíduos domésticos para aferir a quantidade de resíduos contidos em função do volume do saco;
- 10) Abrir os sacos de resíduos na mesa de triagem para a classificação por categorias;
- 11) Pesar os recipientes de cada categoria;
- 12) Repetir essa operação para cada amostra;
- 13) Analisar os resultados da composição física dos resíduos sólidos domésticos.

• ***Método Francês de Caracterização no âmbito da coleta seletiva – MODECOM (GAUTIER et.al., 1997)***

A metodologia MODECOM tem como alvo de estudo os RSD, considerando somente os produzidos nas residências e não em nível urbano. Esse método tem como objetivos principais, conhecer a composição físico-química dos resíduos sólidos domésticos, estudar a eficácia da coleta seletiva sobre esses resíduos e conhecer a quantidade de embalagens de consumo e de materiais recicláveis nos resíduos domésticos.

As principais etapas dessa metodologia são:

- 1) Coletar dados e informações sobre o sistema de limpeza urbana e sobre aspectos sócio-econômicos da população estudada;
- 2) Caracterizar a zona de estudo;
- 3) Inventariar a produção de resíduos por fluxos;
- 4) Separar a zona de estudo em setores, segundo alguns critérios, como tipo de coleta seletiva, tipo de habitação, tipo de agrupamento social (urbano, rural), caráter sazonal etc.
- 5) Coleta das amostras:
  - A quantidade de amostra coletada deve ser em função do fluxo alvo; amostras elementares devem ter dimensões que não sejam inferiores a três vezes a maior dimensão dos materiais mais volumosos;
  - É necessário estabelecer previamente uma relação volume/peso em função das características dos materiais: efetuam-se assim dez amostragens elementares para obter o peso requerido para a amostra a tirar.
- 6) A amostra de resíduos domésticos a caracterizar deverá ter 500 kg brutos;
- 7) A amostra deverá ser triada no mínimo em 13 categorias;
- 8) Análise dos dados.

- **Método do Serviço Público de Seattle - SPU (SPU, 2003)**

Nessa metodologia, são estudados apenas os resíduos sólidos comerciais e domésticos depositados e não os produzidos, pois estes incluem os resíduos destinados à coleta seletiva. Esses resíduos são analisados separadamente, com o objetivo de estimar o potencial de reciclagem, implementar programas de metas de reciclagem por fluxo e monitorar o desempenho do sistema.

A seguir são apresentadas as etapas desta metodologia:

- 1) Coletar dados e informações sócio-econômicas do município e do sistema de limpeza urbana;
- 2) Período de Amostragem – 12 meses (sazonalidade): 2 dias consecutivos/mês e 13 a 14 amostras/dia. Distribuição aleatória entre dias da semana e semanas dos meses para assegurar representatividade.
- 3) Geração aleatória de um número por computador, em que cada número corresponde a um veículo de coleta;
- 4) A seleção das amostras é feita por setor para cada dia de amostragem;
- 5) Repete-se esse procedimento até haver um número suficiente de veículos selecionados para cada setor em cada dia;
- 6) Amostragem:
  - A área de intervenção é dividida em dois setores de acordo com o tipo de coleta e com a área a ser abrangida;
  - Distribui-se a coleta de amostras em 2/3 no setor onde se coleta 60% dos e resíduos e 1/3 no outro setor;
  - Número de amostras: 347 amostras de resíduos comerciais e 309 de resíduos domésticos.
- 7) Registra-se o peso líquido da amostra coletada no veículo;
- 8) A amostra é coletada num caminhão de cerca de 4,5 m<sup>3</sup>, para realizar o estudo seleciona-se um amostra de 113 kg;
- 9) Após a coleta realiza-se a triagem manual e a classificação dos resíduos em oitenta e nove categorias;
- 10) Análise dos dados da composição física global e análise demográfica, sociológica e sazonal da composição dos RSU.

### **2.1.4.3 – O uso das metodologias**

Pode-se observar que já existem diversas entidades empenhadas em realizar a caracterização física, para que seja possível obter dados confiáveis que traduzem a realidade de cada região, buscando melhorar a gestão dos RSU.

Cada metodologia é criada com um objetivo central, buscando conhecer previamente a origem dos resíduos a serem analisados e que objetivos se pretende alcançar com a caracterização, valorizando mais alguns aspectos em detrimento de outros.

A caracterização é realizada com base nas informações do sistema de gestão, variando em função dos objetivos, infra-estruturas existentes e características do sistema, sendo, portanto, um trabalho realizado em função de situações particulares do local de estudo, tornando difícil a comparação de resultados entre diferentes sistemas de gestão.

Há uma preocupação em conhecer a composição dos resíduos domésticos separadamente dos demais resíduos produzidos nos municípios, sendo fundamental a definição do resíduo alvo do estudo, de forma a evitar interpretações e comparações errôneas.

As metodologias apresentadas buscam, pelos resultados da caracterização dos resíduos, avaliar a potencialidade e a eficiência da coleta seletiva e, em alguns casos, indicar pontos falhos no sistema de gestão.

A definição do período de amostragem é influenciada pela sazonalidade, correspondente a variações climáticas, hábitos culturais, religiosos e festivos, que variam de região para região. Em todas as metodologias apresentadas, existem proposições de realização de períodos de amostragem ao longo de todo o ano para diluir situações de sazonalidade.

Os processos de seleção e coleta de amostras nas metodologias apresentadas são variados e alguns casos, pouco esclarecedores, tendo como dificuldades:

- **Como definir a área de coleta das amostras** – é um problema comum, uma vez que não é viável realizar a caracterização em todos os setores de coleta existentes. Para solucionar esse problema, as metodologias propõem agrupar os setores em grupos com características homogêneas para que a coleta assegure a representatividade da área estudada.
- **Como definir os setores a coletar em cada área** – a metodologia de Portugal (DGQA) propõe que se escolha o grupo de setores mais representativo de cada

tipo (urbano, rural etc.). Já as demais, indicam que processo será mais adequado à seleção aleatória dos setores, para cada dia de amostragem. Esse processo poderá conduzir a uma escolha de um setor menos representativo, sendo que os resultados não representarão a realidade do local.

- **Como coletar as amostras a caracterizar** – entre as metodologias há diferenciação dos métodos de coleta das amostras. Entretanto, o que é fundamental nesta etapa é garantir que a amostra coletada seja representativa do setor selecionado. As estratégias que cada metodologia adota, buscam ajustar as condições e meios de trabalho com o objetivo a ser alcançado.
- **Que quantidade coletar para a amostragem** – coletada a amostra, questiona-se a quantidade que deverá ser caracterizada, sem comprometer a representatividade dos dados a serem obtidos. Das metodologias apresentadas, apenas a metodologia de Portugal (DGQA) não faz referência a essa questão.
- **Que quantidade de amostras caracterizar em cada período de amostragem** – entre as metodologias apresentadas somente a metodologia Francesa no âmbito da coleta seletiva (MODECOM) não define esse aspecto. Já as metodologias Portuguesa (DGQA), a Americana (SPU) e a de MAYSTRE et.al, o definem claramente, porém as quantidades de amostras definidas são diferentes entre si. O Método Padrão Americano (ASMT) e o Método da União Européia (ERRA) são pouco esclarecedores quanto a esse assunto. Essa seleção da quantidade terá como critério a população a abranger no processo de caracterização ou até mesmo na frequência de coleta.

### **2.1.5 - A questão dos resíduos sólidos no Brasil**

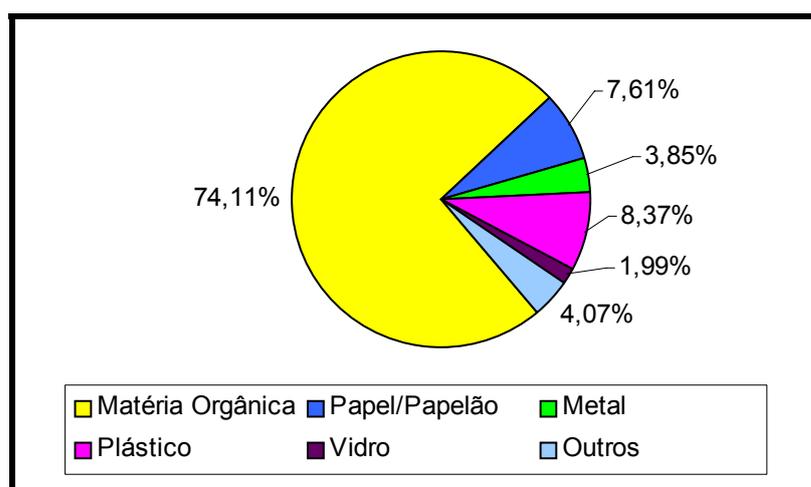
O tratamento dado aos resíduos sólidos no Brasil pode ser avaliado a partir da própria dificuldade na obtenção de informações detalhadas sobre o tema. As informações existentes são escassas, falhas e algumas conflitantes.

Segundo a *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico* (PNSB) realizada pelo IBGE (2000b) o Brasil produzia 125.281 toneladas de resíduos por dia, sendo que 47,1% era destinado a aterros sanitários, 22,3% a aterros controlados e apenas 30,5% a lixões, ou seja, mais de 69% de todo os resíduos coletados no país estaria tendo um destino final adequado, aterros sanitários ou controlados. Todavia, em número de municípios, esse resultado não é tão favorável: 63,6% utilizam lixões e

32,2% aterros adequados (13,8% aterros sanitários, 18,4% aterros controlados), sendo que 5% não informaram à pesquisa para onde vão seus resíduos. Em 1989, a PNSB mostrava que o percentual de municípios que dispunham seus resíduos de forma adequada era apenas 10,7%.

Em 2004, o *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento* (SNIS) (SNIS, 2006) elaborou a terceira edição anual consecutiva do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, com o intuito de retratar as características e a situação dos serviços de manejo de RS, em várias das suas faces, ao longo daquele ano. No entanto, as amostras anuais do SNIS não apresentaram a aleatoriedade e a estratificação exigidas para que se tivesse uma representatividade garantida estatisticamente, devido, principalmente, a: impossibilidade de realizar a coleta de dados em quantidade significativa de municípios; não obrigatoriedade de participação dos municípios; o propósito de constituir uma série histórica de dados, o que conflita com a seleção aleatória. Logo, não serão apresentados, neste estudo, os dados desse diagnóstico.

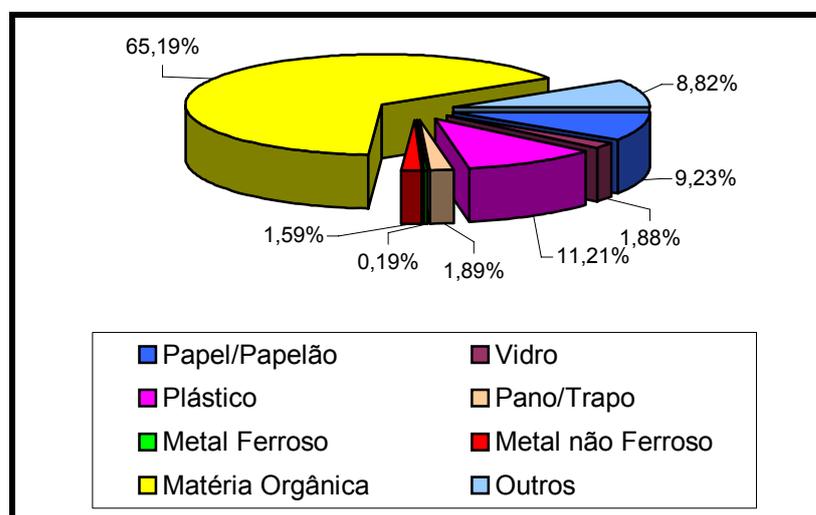
Muitos estudos estão sendo feitos nos vários municípios brasileiros, buscando o conhecimento das características dos resíduos sólidos gerados nas cidades. Pode-se citar como exemplo, o trabalho realizado por OLIVEIRA (1999) em 1997 na cidade de Botucatu no Estado de São Paulo. Quando a pesquisa foi feita, esse município possuía uma população de 100.826 habitantes. O resultado da caracterização é mostrado na FIGURA 6.



**FIGURA 6 – Composição física média do lixo de Botucatu-SP**

Fonte: OLIVEIRA (1999)

Também, pode ser citado, o trabalho feito em 2003 no município de Itajubá, por SILVA & COSTA (2003), no estado de Minas Gerais. Os resultados são apresentados na FIGURA 7.



**FIGURA 7 – Composição Física dos RSD do município de Itajubá – MG**

Fonte: SILVA & COSTA (2003)

O inadequado destino dado aos resíduos sólidos no Brasil é proveniente da falta de recursos destinados ao setor, bem como do despreparo e do desinteresse das administrações municipais e não por ausência de normas e leis sobre o assunto. O Brasil possui uma boa legislação sobre saneamento. O que falta mesmo é uma política nacional de resíduos sólidos, com fiscalização e conscientização da população e do poder público.

Deve-se ressaltar que já existe legislação específica que trata de punições a crimes ambientais, tais como a Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998), que “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”. E a Deliberação Normativa COPAM n°52 de 14 de dezembro de 2001 (MINAS GERAIS, 2001), que “convoca os municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências”.

Logo, as administrações municipais podem ser acionadas legalmente, para executar de forma ambientalmente correta, a limpeza urbana.

A situação da disposição dos RS nos municípios brasileiros poderia ser melhor, caso fosse cumprido o mínimo da legislação ambiental vigente.

### **2.1.6 – Alguns trabalhos de caracterização física de resíduos**

Nesta seção são descritos e analisados alguns estudos realizados sobre o tema em questão.

OLIVEIRA (1999) realizou um trabalho com o objetivo de caracterizar quantitativamente os RSD da cidade de Botucatu, no estado de São Paulo, visando propor alternativas de tratamento e aproveitamento dos RSU. O trabalho foi realizado no aterro sanitário do município de Botucatu. Foram coletadas duas amostras por caminhão/setor/dia, totalizando oito amostras nos meses de abril, maio e junho, nas estações sazonais outono e inverno. Os setores foram escolhidos em função de maior concentração populacional, fonte geradora e nível sócio-econômico. Os RSD foram divididos em papel/papelão, metal (alumínio e aço), plástico (filme, PET – Poli (tereftalato de etileno), PEAD – Polietileno de Alta Densidade, PVC – Poli (cloreto de vinila), PEBD – Polietileno de Baixa Densidade, PP–Polipropileno e outros), vidro, matéria orgânica, têxteis, embalagens longa vida e outros. Os resultados levaram à proposta de um programa de coleta seletiva em um bairro piloto, para depois ser estendido para toda cidade. Também foi observado que não houve variação significativa na composição dos resíduos de uma estação para outra.

THENQUINI & FREIRE (2000) realizaram um estudo no município de Cuiabá, no estado de Mato Grosso. O estudo foi feito com o intuito de se conhecer como era feita a coleta, qual a disposição final dos RS no município e no país, e, ainda, se havia trabalhos educacionais incentivando a coleta seletiva. A metodologia utilizada foi baseada em entrevistas e observação do tipo qualitativa. Os dados foram coletados na Secretaria Municipal de Serviços Urbanos e na *Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar* (PNDA) do IBGE, relativos a 1997, que tratava sobre a coleta e a disposição final dos resíduos sólidos. Os resultados mostraram que os resíduos são coletados, mas que o grande problema está em sua disposição final e na falta de conscientização da população que deposita os resíduos em qualquer lugar, não importando com os impactos que estes possam causar ao meio ambiente.

JÚNIOR & TAVARES (2002) apresentaram um estudo em que foi realizada a análise da composição gravimétrica e o peso específico dos RSU, com a finalidade de se conhecer as características dos resíduos gerados na cidade de Maringá/PR. Com esses dados é possível planejar métodos e sistemas de

condicionamento, coleta, transporte, tratamento e destino final para esses resíduos. A amostragem foi feita de forma criteriosa, levando-se em consideração as rotas previamente definidas junto à Prefeitura de Maringá, nos períodos de verão e inverno, nos meses de dezembro/2000 e julho/2001, em quatro zonas urbanas diferentes, cada uma representando uma classe de nível econômico diferente. A partir dos resultados, foi possível determinar a composição gravimétrica média e o peso específico dos RSU e observar que não houve alterações com as estações do ano. Porém, foram verificadas alterações nos hábitos e tendências de consumo decorrentes das mudanças dos padrões sócio-econômicos da população.

GUADAGNIN et. al. (s/d) realizaram um estudo da composição gravimétrica dos RSD da cidade de Criciúma, Içara e Nova Veneza no extremo sul do estado de Santa Catarina, com a finalidade de contribuir para o processo de otimização do uso de serviços, pessoal, tempo, condicionamento, coleta, transporte, tratamento e/ou disposição final. Nesse trabalho, também procurou-se identificar os diversos tipos de resíduos produzidos para melhor escolha dos modelos de coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares adequados à realidade dos seus diversos bairros, assim como identificar e apontar o potencial calórico mediante análise da geração energética, que indica a quantidade de calor desprendida durante a combustão de um quilo de resíduos sólidos. A metodologia consiste inicialmente em escolher os bairros de acordo com a classe social (alta, média e baixa) e o centro comercial. Em seguida, coleta-se a amostra do bairro escolhido e faz-se o quarteamento, resultando no final em uma amostra de 100 kg, onde se separa o material, para em seguida ser pesado de acordo com o tipo desejado para a caracterização. De acordo, com os autores (op.cit.), esse método foi escolhido em função da necessidade de se partir de uma amostra que permitisse a comparação com os valores obtidos pelo método de quarteamento realizado em outras cidades. O período da amostragem foi de outubro/2000 a novembro/2000. Neste período foram analisados todos os resíduos provenientes dos bairros de todas as zonas geradoras de resíduos. Não foi possível diferenciar os resíduos comerciais dos domiciliares, pois a coleta é realizada de forma conjunta. A partir dos resultados, foi possível determinar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos das cidades/rotas e analisar o potencial energético dos resíduos sólidos. Segundo os autores, caso se verifique a impossibilidade da implantação de coleta seletiva, reciclagem e aproveitamento dos resíduos sólidos, recomenda-se uma análise mais profunda da viabilidade de gerar energia a partir destes resíduos.

LEME & JÓIA (2004) estudaram sobre as técnicas de amostragem domiciliar para a caracterização física dos resíduos sólidos. Segundo os autores várias técnicas para analisar os RSD estão sendo utilizadas, porém a mais significativa é a técnica de amostragem por residência, descrita anteriormente por GUADAGNIN et.al. (s/d). Nesta técnica é necessário dividir a cidade em setores, entretanto, devido à falta de informações sobre a qualidade e quantidade dos resíduos gerados nas cidades, o poder público municipal fica impedido de organizar os setores adequadamente. Logo, é essencial que prefeituras possuam um diagnóstico sobre os RS gerados, para poder gerenciá-lo de forma correta, contribuindo, desta forma com a sociedade e com o meio ambiente.

MILANI & SANTOS (2005) desenvolveram a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos no município de Santo André/SP no ano de 2004 e 2005. Este trabalho teve como objetivo estudar o sistema de RS implantado no município de Santo André, fazer uma análise baseada em literaturas e observações de campo, identificar seus pontos positivos e negativo. A caracterização foi realizada no aterro sanitário do município de Santo André. A primeira etapa do estudo consistiu na caracterização detalhada dos bairros do município. Após esta etapa definiu-se o número de amostra e os setores de amostragem. A fase seguinte consistiu na amostragem propriamente dita. O método utilizado foi o de quarteamento desenvolvido pela CETESB. Os resíduos recebidos nos setores eram encaminhados para os locais de coleta das amostras para a caracterização dos resíduos sólidos domésticos. A partir dos resultados, foi possível analisar a composição gravimétrica dos resíduos da cidade de Santo André nos anos de 2004 e 2005, concluindo que deve haver mais incentivos às práticas de redução, triagem, reciclagem dos resíduos sólidos por parte dos geradores. Além disso, deve haver um trabalho de educação ambiental, para que não haja o encaminhamento inadequado de resíduos para o aterro sanitário.

Esses estudos indicam que, em algumas cidades brasileiras, a variação na estação climática não tem influenciado nas características dos resíduos sólidos domésticos, fato que contradiz a literatura sobre o assunto. Portanto, precisa-se de mais pesquisas nessa área.

## **2.2 – Geração de energia a partir dos resíduos sólidos**

O Brasil, atualmente, defronta-se com dois grandes problemas: a escassez de energia elétrica e falta de áreas para disposição final dos resíduos. Esses dois problemas podem ser minimizados com a geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos.

Na matriz energética brasileira, predominam as usinas hidroelétricas, que produzem energia “limpa”, do ponto vista ambiental. Entretanto, há uma evolução crescente da demanda de energia no país, exigindo investimentos altos e de longo prazo no setor energético, com um planejamento técnico competente, a fim de que a população não sofra com problemas a curto prazo, como o racionamento ocasionado em 2001.

É de fundamental importância o desenvolvimento de fontes energéticas alternativas, sobretudo para a segurança no fornecimento de energia elétrica, na medida em que permite desenvolver a geração distribuída, contando com o combustível próximo dos consumidores, como é o caso do aproveitamento energético do lixo. O aproveitamento energético dos RSU pode contribuir para a geração de riquezas, empregos e para o combate à poluição.

Segundo uma pesquisa feita pela CETESB (1998) dos 153 aterros sanitários cadastrados, alguns já realizam com excelência o aproveitamento do potencial energético dos resíduos sólidos, como o aterro do Caju, no Rio de Janeiro, que realizou esse aproveitamento até o esgotamento e encerramento do aterro na década de 90. Essas iniciativas, além de incrementarem o abastecimento de energia em situações de emergência, têm o potencial de funcionar como fator de desenvolvimento social no entorno e na área de influência dos aterros.

A seguir serão apresentadas quatro tecnologias de aproveitamento dos RSU por meio da geração de energia, a saber:

- Digestão anaeróbia:
  - Digestão anaeróbia acelerada;
  - Tecnologia do *Gás de Lixo* (GDL);
- Incineração;
- Tecnologia BEM – Biomassa – Energia – Materiais (processo de pré-hidrólise ácida).

### **2.2.1 – Digestão anaeróbia**

A *digestão anaeróbia* (DA) é um processo de conversão de matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio livre e ocorre em dois estágios. Primeiro, ocorre a conversão de orgânicos complexos em materiais como ácidos voláteis e, depois, a conversão destes ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio, em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico (CHERNICHARO, 1997). A digestão anaeróbia não é um processo novo, há mais de 100 anos tem sido utilizada para tratamento de esgotos. Nas últimas 4 décadas, muitas experiências foram realizadas com a DA de resíduos líquidos, como resíduos rurais e esgotos industriais de altas concentrações.

Tanto a digestão anaeróbia quanto a compostagem aeróbia oferecem uma rota para recuperação de nutrientes da fração orgânica dos resíduos sólidos municipais. Entretanto, a digestão anaeróbia possibilita a produção de energia elétrica a partir do CH<sub>4</sub>, enquanto a compostagem aeróbia consome energia elétrica para o tratamento dos resíduos.

A geração de energia a partir do produto da decomposição dos resíduos por meio da digestão anaeróbia pode ser feita utilizando-se duas tecnologias: a tecnologia de gás do lixo (GDL) e a digestão anaeróbia acelerada.

A tecnologia de GDL ou do biogás é o uso energético mais simples dos RSU. Nessa tecnologia, o biogás é gerado com a decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos depositados no aterro sanitário. Essa técnica será abordada com mais detalhes no item seguinte.

A tecnologia da digestão anaeróbia acelerada consiste basicamente em simular a decomposição que ocorre em aterros sanitários dentro de um reator. Desta forma, o processo ocorre de maneira análoga ao aterro, só que em um período de tempo menor e em um ambiente de processo controlado.

Nos países industrializados, até pouco tempo, devido ao baixo custo da energia, a compostagem aeróbia e o uso do biogás dos aterros sanitários, eram as tecnologias mais utilizadas. A digestão anaeróbia acelerada teve um desenvolvimento maior no tratamento dos resíduos rurais, sendo largamente utilizado na China e na Índia (para tratamento do resíduo e geração de energia). No Brasil, o processo tem sido utilizado nas grandes indústrias de produção de álcool da cana-de-açúcar. Já para o tratamento de resíduos sólidos, as experiências são muito menos extensivas.

A digestão anaeróbia acelerada tem sido intensamente estudada nos últimos 15 anos, com grande número de plantas piloto e em escala sendo

implantadas, principalmente, na Europa. Nesse continente, a DA acelerada obteve sucesso elevado no que se refere ao tratamento dos resíduos agrícolas, industriais e urbanos. As causas desse sucesso foram os altos preços de energia e o desenvolvimento das regulamentações ambientais locais e das políticas de uso de solo e deposição de resíduos. Na Suécia, 7% da energia para aquecimento e geração de energia vem dos resíduos sólidos (SÖDERMAN\* apud REICHERT, 2005).

### **2.2.1.1 – Etapas do processo de digestão anaeróbia acelerada**

Segundo CHERNICHARO (1997), a digestão anaeróbia pode ser considerada um ecossistema na qual diversos grupos de microorganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas.

O processo de digestão anaeróbia, embora seja considerado simplificada em duas fases, pode ser dividido em quatro fases principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (SPERLING, 1996; CHERNICHARO, 1997; LETTINGA, s/d). Essas etapas são descritas a seguir:

- **Hidrólise**

Nessa etapa, a matéria orgânica complexa é convertida em materiais mais simples dissolvidos pela ação de exoenzimas produzidas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

- **Acidogênese**

Os produtos solúveis oriundos da fase anterior são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em diversos compostos mais simples, os quais são excretados. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas. Como os ácidos graxos voláteis são

---

\* SÖDERMAN, M.L. (2003). *Recovering energy from waste in Sweden – a systems engineering study. Resources, Conservation and Recycling*. v. 38. p. 89-121. apud REICHERT, G.A. (2005). *Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão*. Anais do 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande (MS), 18 a 23 de setembro de 2005.

os principais produtos do metabolismo das bactérias fermentativas, estas são designadas como bactérias fermentativas acidogênicas.

A acidogênese é efetuada por um grande e diverso grupo de bactérias fermentativas, a exemplo das espécies *Clostridium* e *Bacteroids*. As primeiras constituem uma espécie anaeróbia que forma esporos, podendo, dessa forma, sobreviver em ambientes totalmente adversos. As *Bacteroids* encontram-se comumente presentes nos tratos digestivos, participando da degradação de açúcares e aminoácidos. A maioria das bactérias acidogênicas são anaeróbias estritas, mas cerca de 1% consiste de bactérias facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa. Isso é particularmente importante, uma vez que as bactérias estritas são protegidas contra a exposição do oxigênio eventualmente presente no meio.

- **Acetogênese**

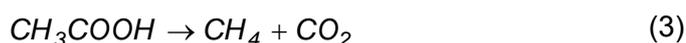
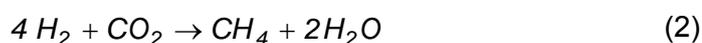
As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas, fazendo parte, assim, de um grupo metabólico intermediário. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH caia para valores entre 4 e 6. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Os lixiviados produzidos nessa fase apresentam grande quantidade de matéria orgânica. Têm, portanto, alta *demanda bioquímica de oxigênio* (DBO), valor usado para indicar a concentração de matéria orgânica em um dado volume líquido. Nessa fase, tem valores de DBO superiores a 10 g/L. Outro indicador da quantidade de compostos orgânicos em um líquido é a *demanda química de oxigênio* (DQO). Dividindo-se o valor de DBO pelo de DQO dos lixiviados, obtêm-se valores relativamente altos, geralmente superiores a 0,7.

- **Metanogênese**

A etapa final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido

fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais: as acetoclásticas, que utilizam ácido acético ou metanol na produção de metano, e as hidrogenotróficas, que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono na formação de metano.

Segundo SPERLING (1996), o primeiro caminho dessa etapa, é o processo oxidativo da metanogênese hidrogenotrófica, no qual o dióxido de carbono atua como acceptor de elétrons, sendo reduzido a metano (eq. 2). E o segundo é a da metanogênese acetoclástica, em que o carbono orgânico, na forma de acetato (ácido acético) é convertido a metano (eq. 3).



Além das fases descritas acima, o processo de digestão anaeróbia pode incluir, ainda, outra fase, dependendo da composição química do resíduo a ser tratado. Os resíduos que contenham compostos de enxofre são submetidos à fase de sulfetogênese.

- **Sulfetogênese**

A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos à base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante esse processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas *bactérias redutoras de sulfato* (BRS). As BRS são capazes de utilizar ampla variedade de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos. As BRS dividem-se em dois grupos: as BRS que oxidam seus substratos de forma incompleta até o acetato e as BRS que oxidam os substratos completamente até o gás carbônico.

A redução de sulfato pode causar uma série de problemas no tratamento anaeróbio, como a produção de biogás com elevadas concentrações de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), um gás altamente tóxico, corrosivo e malcheiroso. Além disso, os

sulfetos podem ser fortemente inibidores da metanogênese, diminuem a produção de biogás e exercem alta demanda de oxigênio no efluente.

### **2.2.1.2 – Fatores de influência na digestão anaeróbia**

O processo de digestão anaeróbia pode ser influenciado por diversos fatores que estão relacionados com o substrato, com as características do digestor ou com as condições de operação. Relacionam-se, a seguir, alguns desses fatores.

- **Composição dos resíduos /sólidos voláteis (SV)**

A composição dos resíduos sólidos urbanos, principalmente os resíduos domésticos, varia muito em função do nível sócio-econômico e da cultura da população, da época do ano e do tipo de coleta existente.

Os *sólidos voláteis* (SV) em resíduos sólidos são os resultados da subtração dos sólidos totais e das cinzas obtidas após combustão completa em amostra dos resíduos. Os sólidos voláteis são subdivididos em *sólidos voláteis biodegradáveis* (SVB) e *sólidos voláteis refratários* (SVR). Conhecer a fração de SVB auxilia na definição da biodegradabilidade dos resíduos, da geração de biogás, da taxa de carga orgânica e da relação Carbono/Nitrogênio (C/N). A lignina é um complexo material orgânico que não é facilmente degradado pelas bactérias anaeróbias e constitui a fração SVR nos resíduos orgânicos municipais. Em geral, resíduos orgânicos de cozinha, com maior umidade, são mais propícios à degradação anaeróbia e resíduos com alto teor de lignina e celulose, como resíduos de podas e jardinagem, são mais indicados para degradação aeróbia (compostagem) (MATA-ALVAREZ et. al<sup>\*</sup>. apud REICHERT, 2005).

- **Sólidos totais (ST)/ Taxa de carga orgânica (TCO) ou taxa de alimentação**

A *taxa de carga orgânica* (TCO) ou taxa de alimentação é a medida da capacidade de conversão biológica de um sistema de digestão anaeróbia. A TCO é um parâmetro importante de controle em sistemas contínuos. Por exemplo, se um sistema for alimentado acima da TCO sustentável poderá resultar em baixa produção de biogás

---

\* MATA-ALVAREZ, J.;MACÉ, S.;LLABRÉS, P. (2000). *Anaerobic digestion of organic solid waste*. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*. v. 74. p.3-6. apud REICHERT, G.A. (2005). *Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão*. Anais do 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande (MS), 18 a 23 de setembro de 2005.

devido ao acúmulo de substâncias inibitórias como ácidos graxos no interior do digestor. Torna-se necessário, portanto, reduzir a taxa de alimentação do sistema.

- ***pH***

As bactérias anaeróbias, principalmente as metanogênicas, são sensíveis às condições ácidas do reator e podem ser inibidas. RISE-AT (1998) descreve que o pH ótimo para a digestão anaeróbia é entre 5,5 a 8,5. Durante a digestão, os dois processos de acidificação e metanogênese requerem valores diferentes de pH para o controle dos seus processos. O tempo de retenção do composto digerido afeta o valor de pH.

- ***Temperatura***

A atividade enzimática das bactérias depende estreitamente da temperatura. Alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias metanogênicas. Há basicamente duas faixas de temperatura que resultam em condições ótimas para a produção de metano – a faixa mesofílica (30°C a 35°C) e a termofílica (50°C a 55°C) (RISE-AT, 1998).

- ***Relação DQO/Sulfato***

Quando há sulfetogênese, muitos compostos intermediários passam a ser utilizados pelas BRS, provocando alteração das rotas metabólicas, que podem agir tanto como bactérias acetogênicas favorecendo a metanogênese, como bactérias competitivas inibindo o processo, dependendo das concentrações de sulfato.

A magnitude desta competição, de acordo com CHERNICHARO (1997), depende de uma série de fatores, principalmente, do pH e da relação DQO/Sulfato.

Segundo GALAVOTI (2003), na prática, para relações de DQO/Sulfato maiores do que 10, o processo anaeróbio desenvolve com sucesso até concentrações de H<sub>2</sub>S iguais ou menores a 150 mg/L.

- ***Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)***

A relação C/N representa a relação entre as quantidades de carbono e nitrogênio presentes na matéria orgânica. O valor ótimo da relação C/N para a digestão anaeróbia está entre 20 e 30. Uma alta relação de C/N é uma indicação de um rápido consumo de nitrogênio pela metanogênese e resulta em menor produção de biogás. Por outro lado, uma baixa relação de C/N causa acúmulo de amônia e o valor de pH excede 8,5, sendo fator inibidor para as bactérias metanogênicas (VERMA, 2002).

- **Mistura**

No interior de um reator, a mistura tem por objetivo colocar em contato o material fresco com os microorganismos presentes na massa já digerida. Além do mais, misturar previne a formação de espuma e evita gradientes de temperatura dentro do digestor. Entretanto, a mistura excessiva pode destruir microorganismos, sendo preferível uma mistura mais lenta. O tipo de equipamento e a quantidade a ser misturada variam de acordo com o tipo de reator e com o total de sólidos dentro do reator (VERMA, 2002).

### **2.2.1.3 – Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia acelerada**

Segundo BRABER\* apud REICHERT (2005), as principais vantagens da digestão anaeróbia acelerada são o aumento da vida útil dos aterros sanitários e a retirada da fração orgânica dos RSU, que é a fração que resulta em odores desagradáveis e geração de lixiviados de alta carga nos aterros sanitários. Além disso, a DA permite a coleta de todo o biogás gerado, minimiza a emissão de gases que aumentam o efeito estufa e gera produtos valorizáveis (biogás e composto). As principais desvantagens são a variação da composição dos resíduos, a mistura ineficiente de RSU e o lodo de esgoto, que podem afetar a eficiência do processo, levando à ocorrência de obstruções de canalização por pedaços maiores de resíduos, principalmente em sistemas contínuos.

#### **2.2.1.4 – Composição e utilização do biogás**

O biogás gerado na digestão anaeróbia inclui metano, dióxido de carbono, alguns gases inertes e compostos sulfurosos (TABELA 2). Normalmente 100-200 m<sup>3</sup> de biogás são produzidos por tonelada de resíduo sólido orgânico digerido.

---

\* BRABER, K. (1995). *Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough*. Biomass and Bioenergy. v.9, nº1-5. p.365-376. apud REICHERT, G.A. (2005). *Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão*. Anais do 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande (MS), 18 a 23 de setembro de 2005.

**TABELA 2 – Composição típica do biogás**

<b>Biogás</b>	<b>Composição</b>
Metano	55-70% por volume
Dióxido de Carbono	30-45% por volume
Sulfeto de hidrogênio	200-4000 ppm por volume
Teor de Energia do gás de digestão acelerada	20-25MJ/m <sup>3</sup> padrão
Teor de CH <sub>4</sub> por tonelada de RSU	167-373 MJ/ton RSU

Fonte: (VERMA, 2002)

Esse gás pode ser convertido em energia útil de vários modos, incluindo o uso como combustível para motor de combustão interna ou para turbinas para geração de energia elétrica, o uso direto do gás como combustível para queima em fogões ou caldeiras e uma depuração para transporte em gasodutos. Cada uma dessas opções é constituída por um sistema de coleta, um sistema de tratamento e um sistema de recuperação energética.

### **2.2.1.5 – Estimativa de energia elétrica**

A utilização do biogás é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos bem como, mundialmente, a mais comum. A estimativa da geração de biogás é de fundamental importância para estimar o balanço energético e econômico de instalações de recuperação de gás.

Segundo HENRIQUES (2004), a estimativa da eletricidade para sistemas de digestão anaeróbia podem ser calculada da mesma forma que o sistema de gás de lixo (apresentado anteriormente).

Como na digestão anaeróbia aplicam-se diferentes tecnologias, os rendimentos serão variáveis, de acordo com a tecnologia utilizada. Os sistemas com maior produção de gás são os de estágio simples com alto teor de sólidos, como, por exemplo, os processos DRANCO e Valorga, que produzem entre 100-150 e 220-250 m<sup>3</sup> de biogás/t de resíduos, respectivamente (VERMA, 2002). Para o sistema de estágio simples, com baixo teor de sólidos, por exemplo, a tecnologia Waasa, a produção pode ser entre 100-150 m<sup>3</sup>/t de resíduos. O sistema de multi-estágio com baixo teor de sólidos, como, por exemplo, o sistema BTA, para uma planta de 20.000 toneladas de resíduos por ano, produz cerca de 3 milhões de m<sup>3</sup>

de biogás, ou cerca de 150m<sup>3</sup>/t (RISE-AT, 1998). A tecnologia de batelada, como o Biocel, por exemplo, pode ter uma produção de até 70 kg/t de resíduos (HENRIQUES, 2004).

### **2.2.1.6 – Produção de energia**

A conversão em energia elétrica pode começar assim que a rede coletora esteja conectada ao motor ou turbina. De acordo com HENRIQUES (2004) tendo cuidado na manutenção, é possível assegurar que se produza eletricidade a uma confiabilidade de 95%. Um programa detalhado de manutenção do aparelho de geração, em conjunto com um plano de manutenção extensivo no sistema de coleta, assegurará uma produção de eletricidade otimizada.

A aplicação mais conhecida do biogás é seu uso em motor a combustão interna, acoplado a um gerador que produz energia elétrica. Uma planta típica para disponibilizar energia com motor a gás atinge potência entre 350 e 1200 kW por motor.

Em alguns países da Europa, é também normal usar o “resto” de calor das torres de resfriamento, sistema de resfriamento e óleo exausto do motor. Isso é, no entanto, pouco usual nos Estados Unidos, embora mais de 50% da energia disponível seja por isso perdida (WILLUMSEN, 2001).

A geração de energia elétrica é vantajosa porque esta produz valor agregado para o biogás. A cogeração de eletricidade e energia térmica (vapor) a partir do biogás pode ser uma alternativa ainda melhor. A eficiência da geração elétrica isolada varia de 20 a 50% e, com o uso da cogeração, obtêm-se eficiências mais altas pela disponibilização do vapor resultante do processo de geração. Esse pode ser usado localmente para aquecimento, refrigeração, para outras necessidades do processo, ou ainda transportado por tubo para uma indústria ou comércio próximo, obtendo um segundo rendimento para o projeto.

Existem várias tecnologias para a geração de energia elétrica com motores de combustão interna, turbinas de combustão e turbinas com utilização do vapor (ciclo combinado).

Segundo HENRIQUES (2004), o aproveitamento energético com a digestão anaeróbia, pode ser calculado pela eq. (4):

$$EP = RSU \times MO \times FP \times PM \times FC \times E \quad (4)$$

Onde:

- EP – Energia potencial calculada (TWh/ano);
- RSU – quantidade de resíduos sólidos urbanos (G kg/ano);
- MO – matéria orgânica (%)
- FP – Fator de produção de biogás (m<sup>3</sup>/1000 kg)
- PM – Percentual de Metano no biogás (%)
- FC – Fator de conversão (M Wh/km<sup>3</sup>);
- E – Eficiência da planta utilizada (%).

### **2.2.2 – Tecnologia do Gás de Lixo (GDL)**

A tecnologia de Gás de Lixo (GDL) ou do biogás é o uso energético mais simples e mais utilizado dos RSU. Essa tecnologia advém da necessidade do ser humano aproveitar melhor os gases provenientes da disposição de resíduos em aterros ou lixões, destinando-os a outros fins, que não seja a emissão descontrolada para a atmosfera.

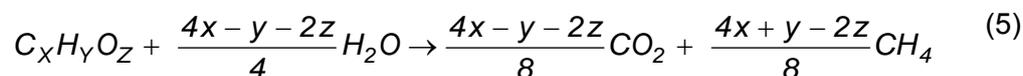
O biogás é produzido a partir da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos dispostos e compactados a uma densidade específica em aterros sanitários. As camadas, geralmente, tornam-se estratificadas e, uma vez que a atividade microbiana começa, inicia-se a produção do GDL.

O gás de lixo é um combustível composto por uma mistura de 50% de metano (CH<sub>4</sub>), 45% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 5% de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>S) e outros gases. O poder calorífico do GDL é de 14,9 a 20,5 MJ/m<sup>3</sup>, ou aproximadamente 5.800 kcal/ m<sup>3</sup> (MUYLAERT, 2000).

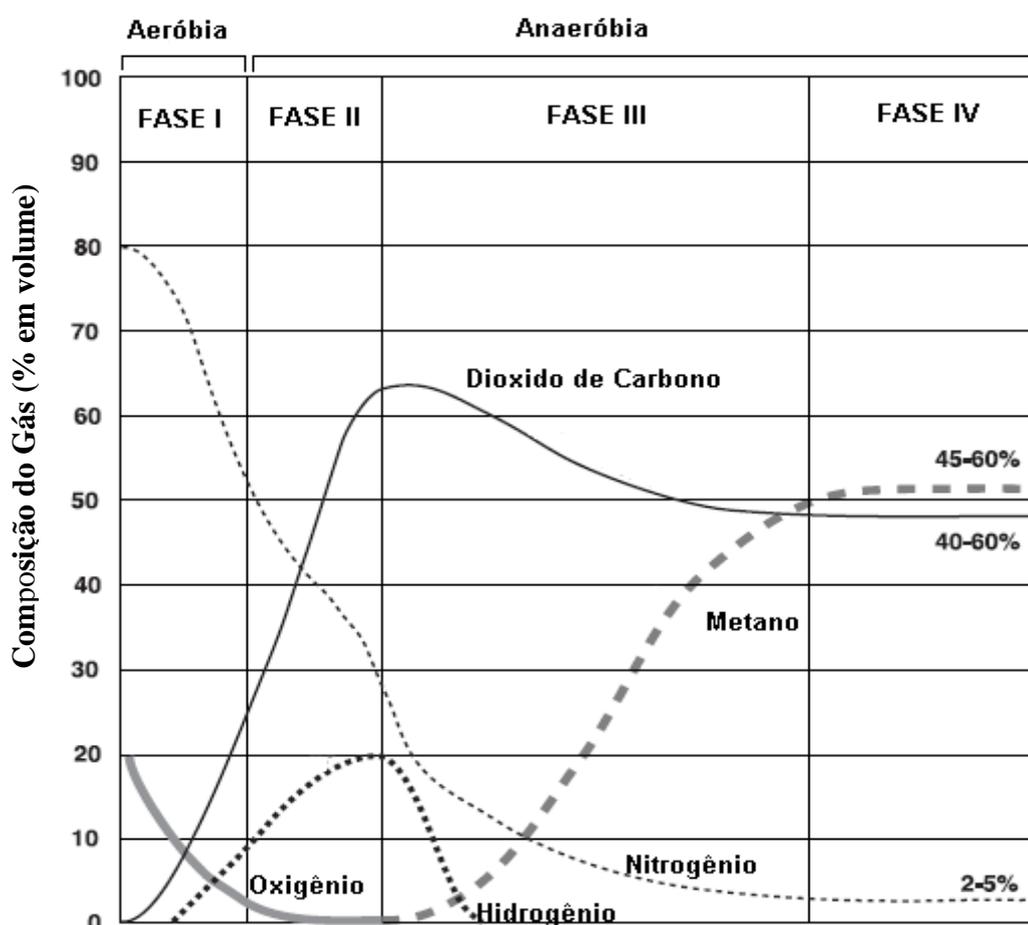
#### **2.2.2.1 – Formação do Gás de Lixo**

O GDL é gerado como resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro da massa de resíduos. O processo de geração do gás é governado pelos processos microbiológicos, devido à natureza orgânica da maioria dos resíduos.

Segundo VAN HAANDEL & LETTINGA\* apud SPERLING (1996), a decomposição anaeróbia para um composto orgânico  $C_xH_yO_z$ , pode ser expressa de uma forma genérica pela eq. (5).



A decomposição dos resíduos sólidos, que está relacionada com a produção de gás em aterro sanitário, pode ser dividida em quatro ou cinco fases, dependendo do autor (EPA, 1997; BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2004). Na FIGURA 8, é mostrado um exemplo da divisão em quatro fases.

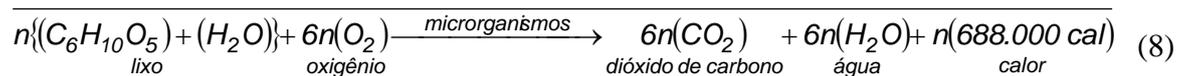
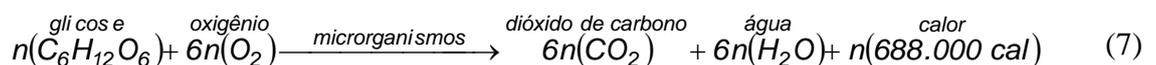


**FIGURA 8 – Duração das fases variando com o tempo**

Fonte: EPA (1997)

\* VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. (1994). *Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente.* apud SPERLING, M.V. (1996). *Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.* DESA – UFMG, vol. 2, p.98-99.

- 1ª fase:** A primeira fase da decomposição é aeróbia, isto é, ocorre com presença de oxigênio. Nessa fase, as bactérias aeróbias consomem oxigênio enquanto metabolizam as cadeias de carboidratos complexos, proteínas e lipídios que estão contidos nos resíduos orgânicos. O primeiro gás produzido é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). No início dessa fase, há uma grande quantidade de nitrogênio, que declina rapidamente, à medida que o processo vai transcorrendo. Essa fase pode durar dias ou meses, dependendo da quantidade de oxigênio presente no resíduo quando depositado no aterro. A quantidade de oxigênio dependerá da maneira como o resíduo foi depositado e, se houve ou não compactação. BIDONE & POVINELLI (1999) descreveram-na como fase de ajustamento inicial e LIMA (2004), como fase aeróbia. Nessa fase, segundo LIMA (2004) a temperatura do meio se eleva para o estágio mesofílico, em função do comportamento exotérmico das bactérias aeróbias, podendo ainda, dependendo das condições de contorno, atingir o estágio termofílico, com valores variando entre  $45^\circ\text{C}$  e  $68^\circ\text{C}$ . De acordo com esse autor (op.cit.), as reações bioquímicas que ocorrem nessa fase podem ser descritas matematicamente pelas eq. (6), (7) e (8):

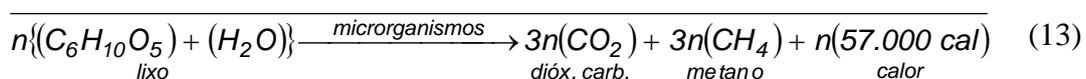
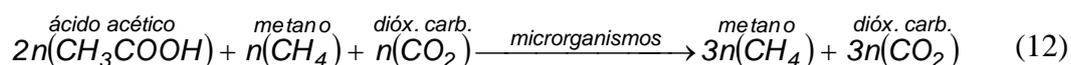
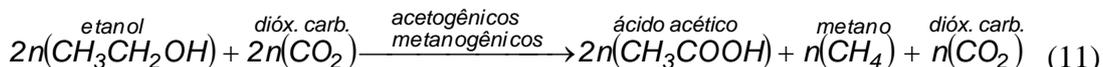
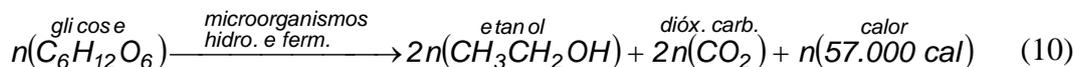
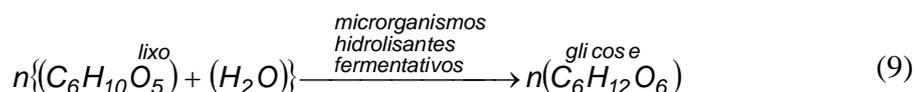


- 2ª fase:** A segunda fase inicia-se após o oxigênio ter sido consumido. Nessa fase, as bactérias convertem os compostos criados pelas bactérias aeróbias, em ácido acético, lático, fórmico e álcoois, tais como metano e etanol. O ambiente torna-se totalmente ácido. Esses ácidos misturam-se com a umidade presente nos aterros, causando a dissolução de nutrientes e liberando nitrogênio e fósforo, disponíveis para o crescimento de diversas bactérias no aterro. Os gases produzidos são o dióxido de carbono e o hidrogênio. Caso ocorra o revolvimento da massa de resíduos ou a introdução, de alguma maneira, de oxigênio no aterro, os processos microbiológicos retornam para a primeira fase. De acordo com BIDONE & POVINELLI (1999), essa fase é dividida em duas: a fase de transição, em que ocorre o estabelecimento das

condições de óxido-redução, e a fase de formação de ácidos, com predominância de ácidos orgânicos voláteis. Segundo LIMA (2004), é denominada como fase ácida, na qual o pH varia de 5,2 a 6,8 e a temperatura diminui para 29 a 45 °C.

- **3ª fase:** A terceira fase também é caracterizada por um ambiente anaeróbio. Inicia-se quando certas espécies de bactérias consomem os ácidos produzidos na segunda fase e forma-se o acetato, um ácido orgânico. Nesse processo, o ambiente se torna neutro, possibilitando o estabelecimento das bactérias produtoras de metano. As bactérias metanogênicas e as bactérias acidogênicas são simbióticas ou apresentam mutualismo positivo. As acidogênicas criam compostos para as metanogênicas consumirem. As bactérias metanogênicas consomem carbono e acetato que são tóxicos para a maioria das bactérias acidogênicas. Nessa fase, inicia-se a produção de metano, com a redução da quantidade de dióxido de carbono produzido. BIDONE & POVINELLI (1999) definem-na como fermentação metânica e LIMA (2004), como metânica instável. Segundo os autores (op.cit), o pH sobe e estabiliza-se na faixa de 6,8 a 7,2, e a temperatura estabiliza-se próximo de 30°C.
- **4ª fase:** Inicia-se quando a taxa de composição e de produção de gás no aterro se mantêm relativamente constantes. Usualmente, nessa fase, o gás do aterro contém, em volume, 45% a 60% de metano, 40% a 60% de dióxido de carbono, e 2% a 9% de outros gases. Essa fase é denominada por BIDONE & POVINELLI (1999) como maturação final, caracterizada por estabilização da atividade biológica, escassez de nutrientes, paralisação da produção de gás, predominância de condições ambientais naturais, aumento do valor do potencial redox com aparecimento de O<sub>2</sub> e espécies oxidadas, conversão lenta dos materiais orgânicos resistentes aos microorganismos em substância húmicas complexadas com metais. LIMA (2004) define como fase metânica estável. A temperatura é inferior a 30°C (próxima do ambiente), o pH estabiliza-se entre 7,0 e 7,2 e o potencial redox varia em torno de -330 a -600 mV.

As reações bioquímicas que ocorrem em toda fase anaeróbia podem ser expressas, segundo LIMA (2004), pelas eq. (9),(10),(11),(12) e (13):



Segundo CRAWFORD & SMITH\* apud AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR, 2006) um resíduo que é disposto num aterro é capaz de emitir gás por 50 anos ou mais, porém um aterro ao atingir a quarta fase, é capaz de produzir gás a uma taxa constante por mais de 20 anos.

Pelo fato de os aterros serem heterogêneos e de todo o resíduo não ser depositado ao mesmo tempo, as fases descritas acima ocorrem simultaneamente em diferentes áreas e profundidades de um aterro ativo ou recentemente fechado. A separação entre fases torna-se difícil quando o aterro está ativo e resíduos novos são adicionados aos antigos. Após o encerramento do aterro e devido à presença de resíduos em diferentes fases de degradação, este tende a ser impulsionado para a quarta fase, mantendo-se nela por um longo período de tempo.

### 2.2.2.2 – Fatores que afetam a geração de gás

A capacidade de um aterro produzir gás vai depender de muitos fatores, incluindo composição e idade do resíduo, composição química, umidade, tamanho das partículas, pH, temperatura, Eh, entre outros. Descrevem-se, na seqüência, os fatores que afetam a geração de gás (ATSDR, 2006; BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2005).

\* CRAWFORD, J.F.; SMITH, P.G. (1985). *Landfill technology*. London: Butterworths. apud ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *Chapter 2: Landfill Gas Basics*. <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>. (22/nov. 2006).

- **Composição do resíduo**

A maior parte dos resíduos depositados em um aterro é constituída por material orgânico, facilmente degradável. O restante consiste em vários materiais inertes como plásticos, metais, entulho, entre outros materiais não degradáveis. Quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos depositados no aterro, maior será a quantidade de gás produzido pelas bactérias durante a decomposição. Alguns resíduos degradáveis, tais como pedaços grandes de madeira, que não são inertes, mas se decompõem lentamente, na prática, não contribuem significativamente com a geração de gás.

- **Idade do resíduo**

A produção do gás metano apresenta duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso e tempo de conversão. O tempo de atraso é o período da disposição dos resíduos até o início da geração do metano. O tempo de conversão é o período da disposição dos resíduos até o final da geração do metano. Geralmente, os resíduos recentemente depositados (menos de 10 anos), geram uma quantidade maior de gás do que os resíduos mais antigos (mais de 10 anos). O pico da produção de gás em um aterro ocorre depois de 5 a 7 anos em que os resíduos foram depositados.

- **Composição química**

A análise química dos resíduos identifica a composição do substrato, possibilitando a avaliação do grau de resistência à atividade enzimática e da disponibilidade de nutrientes para os microrganismos.

A relação de C/N considerada ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1; no entanto, os RSU, geralmente, apresentam valores em torno de 50:1, sendo necessária a correção dessa relação, por meio da suplementação de nitrogênio.

Os compostos de enxofre na forma de  $\text{SO}_4^{-2}$  e  $\text{S}^{-2}$  são utilizados pelos microrganismos para a formação da biomassa.  $\text{SO}_4^{-2}$  também é utilizado como aceptor de elétrons; no entanto, ele inibe o processo metanogênico, quando se reduz a sulfeto, que é tóxico, e pela competição por substratos comuns a outros microrganismos.

Existem certos nutrientes que são essenciais tanto à metanogênese quanto a outros microrganismos para que o processo se desenvolva, como nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12. Porém, para ocorrer a atividade microbiana, é necessário que esses nutrientes estejam presentes em níveis adequados, principalmente o carbono, o nitrogênio e o enxofre

(formas de sulfetos). Este último pode tornar a massa em decomposição tóxica, além de poder criar uma competição entre as BRS e as metanogênicas pelo mesmo substrato.

- **Umidade**

A umidade é o fator mais significativo para a taxa de produção de gás, pois, além de favorecer o meio aquoso essencial para o processo de produção de gás, também, serve como transporte para os microrganismos dentro do aterro sanitário. O teor de umidade depende de outros fatores como composição gravimétrica do lixo, condições climáticas, práticas de coleta, entre outros. No Brasil, o teor de umidade dos resíduos varia de 40 a 60%. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do gás e de CH<sub>4</sub>. A produção máxima é atingida entre 60% e 80% de umidade.

O teor de umidade em um aterro muda ao longo do tempo. Alterações no teor de umidade do aterro podem resultar em mudanças na infiltração de águas superficiais e/ou influxo de águas subterrâneas, liberação de água como resultado da decomposição dos resíduos e variações sazonais do teor de umidade dos resíduos. Na teoria, a condição ideal para a produção de gás é a total saturação do resíduo. No entanto, infiltrações excessivas podem causar retardamento na produção, segundo BIDONE & POVINELLI (1999), devido ao favorecimento da fermentação ácida da matéria orgânica, liberando grandes quantidades de ácidos graxos voláteis e ocasionado a inibição do processo metanogênico.

- **Tamanho das partículas**

Quanto menor a partícula de um resíduo disposto, maior será a área da superfície específica. Partículas de resíduos com área superficial maior, decompõem-se mais rapidamente do que uma partículas com área menor. Logo, um aterro que recebe resíduos em pedaços terá uma taxa de decomposição mais rápida e completa (i.e., rápida taxa de geração de gás) do que um aterro que recebe resíduos inteiros.

- **pH**

O potencial hidrogeniônico (pH) tem importância fundamental no processo da decomposição anaeróbia, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo. Em função do pH e da capacidade de crescimento no meio, os microrganismos podem ser classificados em acidofílicos (crescimento ótimo com pH baixo), neutrofílicos (melhor crescimento com pH próximo de 7) e alcalinofílicos (crescimento ótimo com pH alto).

As bactérias metanogênicas são as mais sensíveis ao pH. A faixa de pH ótima para essas bactérias é de 6,5 a 7,6. Caso haja o desbalanceamento no processo, por exemplo, devido a um aumento repentino da carga orgânica, poderá haver um acúmulo de ácidos voláteis, se a capacidade tampão, determinada em sua maior parte pela alcalinidade a bicarbonato, não for suficiente para a neutralização. Nesse caso, ocorrerá queda do pH, provocando um desbalanceamento maior.

Segundo BIDONE & POVINELLI (1999) e LIMA (2005), a produção de CH<sub>4</sub> é máxima quando o pH situa-se na faixa de 7,0 a 7,2, sendo que, para valores abaixo de 6,0 e superiores 7,6, a atividade microbiana no aterro sanitário pode ser inibida.

- **Temperatura**

A temperatura de um aterro interfere nos tipos de bactérias predominantes e na taxa de produção de gás. A formação de metano pode ocorrer a uma extensa faixa de temperatura, entre 0° e 97 °C. Em ambientes anaeróbios, podem existir três faixas ótimas de temperatura: psicofílica (ainda não bem definida); mesofílica (30 a 35°C) e termofílica (50°C a 55°C).

No aterro sanitário as máximas temperaturas frequentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos como um resultado da atividade aeróbia microbiológica, diminuindo nas condições anaeróbias. Geralmente a temperatura nos aterros não ultrapassa 45°C, sendo difícil um aterro ser operado na faixa termofílica. A temperatura ambiente não exerce influência significativa na massa de aterro, em função da mistura de resíduos e solo.

- **Eh**

A energia primária para muitos microrganismos é a energia química suprida por compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que sua utilização como fonte de energia envolve reações de troca de elétrons, ou seja, reações de oxidação-redução.

O potencial de oxidação-redução ou potencial redox é definido como a tendência de um meio de cultura aceitar ou ceder elétron. A medida deste potencial indica o nível de oxidação e redução nos resíduos do aterro, podendo ser utilizada para conhecer a atividade microbiana. Sua magnitude é influenciada pelo pH e temperatura.

O Eh ótimo para produção de CH<sub>4</sub> é menor que -200 mV (BIDONE & POVINELLI, 1999). Segundo LIMA (2005), a produção máxima de CH<sub>4</sub> ocorre quando Eh atinge valores entre -300 a 600 mV, expressando que as bactérias metanogênicas requerem meios reduzidos para seu efetivo crescimento.

### 2.2.2.3 – Sistema de coleta e extração do GDL

Na maioria dos aterros, a extração do gás se realiza através de tubos verticais perfurados. Esta é a forma mais simples de extrair o gás do aterro quando, este já foi estabelecido. Tubos de sucção horizontais podem ser colocados quando o lixo ainda está sendo depositado no aterro. Dessa forma, ele poderá ser extraído mais facilmente desde o início da sua produção, uma vez que o gás pode ser retirado antes de o aterro ser coberto (WILLUMSEN, 2001). Em aterros sanitários construídos conforme as normas nacionais vigentes, já está prevista a colocação desta tubulação para a coleta do gás (ABNT, 1992; ABNT, 1995).

Um sistema padrão de coleta do gás de lixo é constituído de três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento e um compressor. Além disto, a maioria dos aterros sanitários com sistemas de recuperação energética possui um *flare* para queima do excesso de gás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos (TOLMASQUIM, 2003). Na FIGURA 9 é mostrado um sistema de coleta GDL em um aterro sanitário.

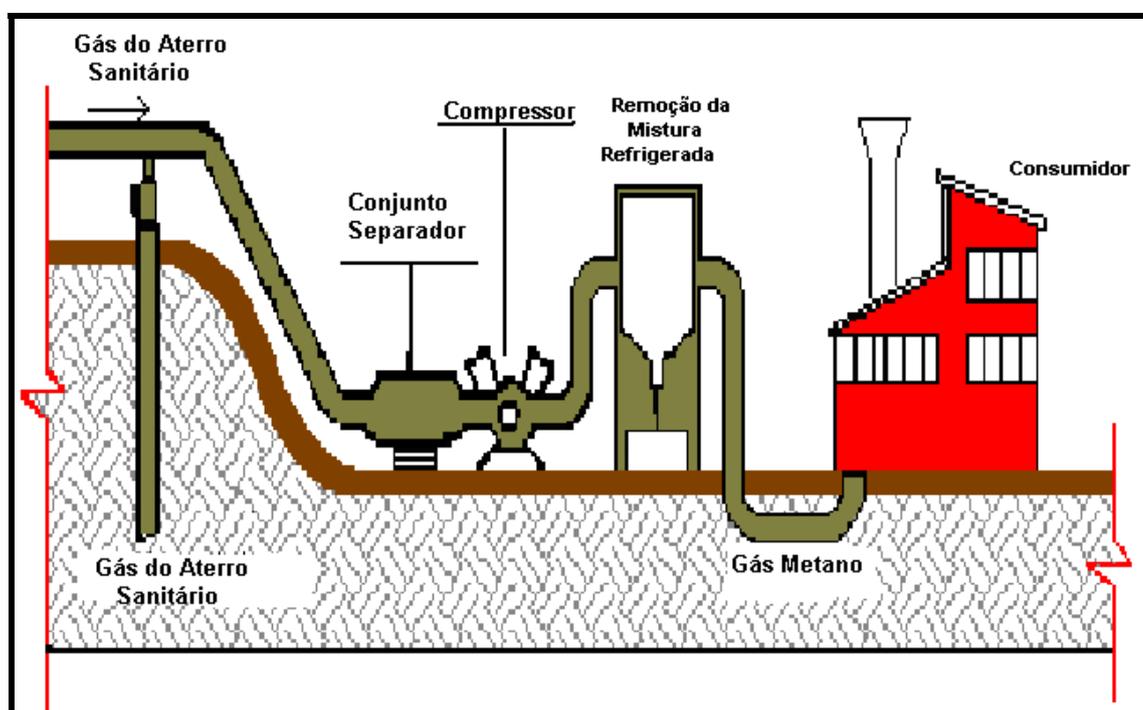


FIGURA 9 – Sistema de coleta de GDL em um aterro sanitário

- ***Tubos de coleta***

A coleta de gás normalmente começa após uma porção do aterro (célula sanitária) ser encerrada. Os sistemas de coleta podem ser poços verticais ou trincheiras horizontais. O mais utilizado são os poços verticais. As trincheiras horizontais são mais apropriadas para aterros sanitários profundos e áreas de aterro ativo. Cada extremidade do sistema de coleta é conectada a uma tubulação lateral, que transporta o gás para um coletor principal. Preferencialmente, o sistema de coleta deve ser planejado, para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás, quando necessário.

- ***Sistema de Tratamento de Condensado***

Uma importante parte de qualquer sistema de coleta de gás é o sistema de tratamento de condensado. O GDL (quente) produzido pelo aterro sanitário, ao ser transportado pelo sistema de coleta, resfria-se formando um condensado. Caso não seja removido, pode bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de recuperação de energia. O controle do condensado inicia-se no campo do sistema de coleta, com a colocação de tubos inclinados e conectores que permitem a drenagem em tanques ou armadilhas de coleta. Esses sistemas são complementados por uma remoção de condensado pós-coleta. São métodos para a disposição do condensado a descarga no sistema público de esgoto, um sistema de tratamento local, e uma recirculação para o aterro sanitário. O melhor método para um aterro em particular, dependerá das características do condensado (depende dos componentes do resíduo sólido local), das regulamentações vigentes e do custo de tratamento e/ou disposição.

- ***Compressor***

É necessário um compressor para succionar o gás dos poços de coleta e este também pode ser necessário para comprimir o gás antes de ele entrar no sistema de recuperação energética. Número, tamanho e tipo de compressores necessários dependerão da taxa, do fluxo de gás e do nível desejado de compressão que, tipicamente, é determinado pelo equipamento de conversão energética.

- ***Flare (Queimador)***

O *flare* é um dispositivo simples para ignição e queima do GDL. É considerado como um componente de cada opção de recuperação de energia,

porque este pode ser necessário durante as etapas de início e manutenção do sistema. Além disso, o *flare* pode ter maior custo-efetividade, para, gradualmente, aumentar o tamanho do sistema de recuperação de energia e queimar o excesso de gás entre *up-grades* (troca de componentes) de sistemas, isto é, antes da adição de um novo motor. Os projetos de *flare* incluem *flares* abertos (ou vela) e enclausurados. Esses últimos são mais caros, mas podem ser preferíveis (ou requeridos), porque eles proporcionam testes de concentração e podem obter eficiência de combustão altas. Ademais, *flares* enclausurados podem reduzir os incômodos de ruído e iluminação.

- **Sistema de Tratamento de Gás**

Depois de coletado, o GDL é tratado para retirar algum condensado, que não foi coletado nos tanques de captura, assim como particulados e outras impurezas. O tratamento vai depender da finalidade do uso do gás. Por exemplo, será requerido um tratamento mínimo para o uso direto do gás em caldeiras, enquanto, para a injeção em gasoduto, será necessário um tratamento extensivo para a remoção do CO<sub>2</sub>. Segundo MAGALHÃES et.al. (2004), a remoção do CO<sub>2</sub> faz com que o percentual de CH<sub>4</sub> no biogás se eleve, tornando seu poder calorífico maior.

A remoção do CO<sub>2</sub> pode ser realizada mediante absorção física, absorção química ou separação por membrana. Nas absorções física e química, um componente se absorve, preferencialmente, utilizando um solvente adequado. A separação mediante membrana implica o uso de uma membrana semipermeável para separar o CO<sub>2</sub> do CH<sub>4</sub>. Existem membranas em forma de lâminas planas ou em fibras ocas que já são utilizadas.

- **Sistema de Geração ou Recuperação de Energia**

Um projeto de aproveitamento energético do GDL tem por objetivo convertê-lo em alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor etc. Existem várias tecnologias produzindo essas formas de energia, como:

- **Uso direto do gás de médio poder calorífico** - a utilização do GDL como combustível de médio poder calorífico, para caldeiras ou para uso em processos industriais, é a forma mais simples de uso e de maior custo-efetividade. O gás é transportado por um gasoduto diretamente para um consumidor próximo, para ser usado em equipamentos de combustão novos

ou já existentes, em substituição, ou como suplemento do combustível tradicionalmente usado. Nesse caso, é requerida uma baixa remoção de condensado e um tratamento de filtração.

- **Produção de energia/cogeração** – O GDL é usado, principalmente, como combustível para a geração de energia. Esse é método vantajoso, pois agrega valor ao GDL. A cogeração de eletricidade e energia térmica (vapor) a partir do GDL, pode ser uma alternativa ainda melhor. A eficiência da geração elétrica isolada varia de 20 a 50% e, com uso da cogeração, obtêm-se eficiências mais altas pela disponibilização do vapor resultante do processo de geração. Na TABELA 3 é apresentada uma comparação entre três tecnologias de geração de energia.

**TABELA 3 – Tecnologia de geração de energia**

	<b>Motores de Combustão Interna</b>	<b>Turbina de Combustão</b>	<b>Turbinas com Utilização de Vapor</b>
<b>Tamanho típico do projeto (MW)</b>	> 1	> 3	> 8
<b>Necessidade de GDL (m<sup>3</sup>/dia)</b>	> 18000	> 57000	> 142000
<b>Custos de capital típicos (US\$/kW)</b>	1000 – 1300	1200 - 1700	2000 - 2500
<b>Custos de Operação e Manutenção (O&amp;M) típicos (US\$/kWh)</b>	1,8	1,3 – 1,6	1,0 – 2,0
<b>Eficiência (%)</b>	25 – 35	20 – 28 (aberto) 26 – 40 (combinado)	20 - 31
<b>Potencial de Cogeração</b>	Baixo	Médio	Alto
<b>Necessidade de compressão (pressão de entrada de kPa)</b>	Baixo (14-240)	Alto (>1140)	Baixo (14-34)
<b>Vantagens</b>	Baixo custo; alta eficiência; tecnologia mais comum	Resistência à corrosão; baixo custo O&M; pequeno espaço físico; baixa emissão NO <sub>x</sub>	Resistência à corrosão; possibilidade de controle da composição e do fluxo de gás

Fonte: Adaptado de EPA (1996)

- ***Venda de gás de qualidade através de gasodutos*** – Uma outra opção é depuração do GDL para um produto de alto poder calorífico (gás natural) para injeção em um gasoduto. Essa aplicação requer um tratamento intenso de gás para remover o CO<sub>2</sub> e as impurezas. As companhias de gás requerem que as injeções de gás em seus sistemas de gasodutos atendam a exigentes padrões de qualidade, o que pode requerer controles de qualidade adicionais.

O GDL também pode ser usado localmente, principalmente no caso de pequenos aterros sanitários, para o aquecimento de casas, produção de dióxido de carbono para indústrias locais ou uso como combustível veicular, como gás natural ou metanol comprimido.

#### ***2.2.2.4 – Panorama mundial da geração de energia a partir do GDL***

Atualmente, existem aproximadamente 950 plantas de gás de lixo em todo o mundo, na qual o gás é utilizado com propósito energético. Na TABELA 4 é apresentado um panorama mundial das plantas. No entanto, o número para alguns países deve ser visto com reserva, pois não é possível obter dados exatos de todos os países. É o caso do Brasil, que, embora esteja presente nessa tabela, suas iniciativas para a utilização de gás de lixo ainda estão muito incipientes (WILLUMSEN, 2001).

As plantas dos sistemas de coleta e utilização de GDL vem se desenvolvendo bastante nos últimos anos. Estima-se que os aterros sanitários produzam mundialmente, de 20 a 60 milhões de toneladas de metano por ano, como um resultado direto da decomposição anaeróbia de material orgânico dos componentes do lixo. Aproximadamente dois terços dessas emissões são provenientes de países desenvolvidos. A contribuição dos países em desenvolvimento está aumentando, devido às tendências de crescimento populacional e urbanização, bem como às necessidades de crescimento econômico. Esses países tornam-se responsáveis por uma parcela cada vez maior das emissões de metano.

Os aterros sanitários são vistos por vários países como uma forma de reduzir as emissões de metano para a atmosfera, além de apresentarem

oportunidades de geração e recuperação de energia. Nos Estados Unidos e no Reino Unido, foram criados programas de recuperação de metano que reduzirão suas emissões em 50% ou mais nas próximas décadas, além de obter um ganho econômico pelas emissões evitadas e pela geração de energia.

**TABELA 4 – Distribuição geral de plantas de GDL pelo mundo (2001)**

<b>Países</b>	<b>Número aproximado de plantas</b>
China	3
República Checa	5
Hungria	5
Brasil	6
França	10
Espanha	10
Suíça	10
Finlândia	10
Polônia	10
Áustria	15
Noruega	20
Dinamarca	21
Canadá	25
Austrália	25
Itália	40
Holanda	60
Suécia	70
Inglaterra	135
Alemanha	150
Estados Unidos	325
<b>Total</b>	<b>955</b>

Fonte: (WILLUMSEN, 2001).

Com base somente em tecnologias atualmente disponíveis, segundo MUYLAERT (2000), é tecnicamente viável reduzir as emissões globais de metano de aterros sanitários em 50% das emissões atuais, ou seja, 10 a 25 milhões de toneladas por ano. A maior parte dessas reduções é economicamente viável visto que normalmente os depósitos de resíduos estão localizados nas proximidades dos grandes centros urbanos, o que assegura consumo para tal potencial energético.

### **2.2.2.5 – Panorama brasileiro da geração de energia a partir do GDL**

No Brasil, o aproveitamento do GDL vem se desenvolvendo desde a década de 70, principalmente no Rio de Janeiro, em Natal e em São Paulo. No Rio de

Janeiro, a experiência teve início em 1977, quando a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) em parceria com a Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG), deu início ao primeiro projeto de recuperação energética de GDL de aterros sanitários.

Em Natal, no ano de 1983, foram elaborados três projetos para utilização do gás do depósito controlado da cidade, que recebia aproximadamente 500 toneladas de lixo urbano por dia na década de 80:

- Uma cozinha comunitária para os moradores de baixa renda da comunidade próxima ao depósito;
- Uma rede de distribuição de gás conectada diretamente a uma comunidade próxima de 150 habitantes;
- Uma ligação para alimentação de uma caldeira de uma indústria de castanha de caju.

Dos três projetos, somente o primeiro foi implantado em 1986 pela administração de Natal com recursos próprios.

No município de São Paulo, houve programas para aproveitamento do GDL como o Programa de Recuperação de Metano de Aterros Sanitários do Estado de São Paulo.

No país, até o final de 2003, não existiam plantas de aproveitamento de GDL em operação, somente algumas em estado final de montagem, como é o caso do Aterro de Bandeirantes em São Paulo. Outras iniciativas são os aterros de Adrianópolis em Nova Iguaçu - RJ e o de Salvador - BA.

O Aterro Sanitário Municipal de Bandeirantes, no Estado de São Paulo, é um dos maiores do mundo, recebendo diariamente cerca de 7 mil toneladas de resíduos no ano de 2004, o que representa a metade do total produzido em São Paulo.

O aterro começou a operar há quase 30 anos. Os gases produzidos da decomposição da matéria orgânica eram e ainda são, em parte, queimados em drenos verticais e lançados para a atmosfera. A partir de 2004, com a inauguração da Central Termelétrica a gás, 12 mil m<sup>3</sup> por hora de gases são captados em 126 poços conectados a redes de tubos numa extensão de 43 km, e são encaminhados para queima gerando energia calorífica que é transformada em energia elétrica (SENEGA, 2004).

De acordo com esse (op.cit.) a usina tem capacidade de produzir 170 mil MWh de energia elétrica, o suficiente para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes. Os representantes da Biogás, empresa sediada em São Paulo,

detentora de tecnologia em projetos de desgaseificação de aterros, que concebeu a termelétrica do Bandeirantes, afirmam que a utilização correta dos gases gerados nesse aterro reduzirá a emissão equivalente a 8 milhões de toneladas de gás carbônico no período de 15 anos, contribuindo assim para a mitigação do efeito estufa. Em 2006, foi assinado um contrato para venda de certificado de um milhão de toneladas de carbono para o banco alemão KFW.

Os institutos de pesquisa brasileiros estão realizando estudos que objetivam a exploração do biogás, para a geração de energia elétrica, o qual projeta uma capacidade mínima instalada de 20 MW de potência nos aterros sanitários que forem técnica e economicamente viáveis (HENRIQUES, 2004)

### **2.2.2.6 – Vantagens e desvantagens da tecnologia de GDL**

A tecnologia do GDL apresenta aspectos positivos e negativos. Na TABELA 5 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens desse processo.

**TABELA 5 – Vantagens e desvantagens da tecnologia do GDL**

<b>TECNOLOGIA DO GDL</b>	
<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da emissão de metano.</li> <li>• Baixo custo para o descarte de lixo.</li> <li>• Possibilidade de utilização para geração de energia ou como combustível doméstico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ineficiência no processo de recuperação do gás.</li> <li>• Inviabilidade de utilização do metano para lugares remotos.</li> <li>• Possibilidade de ocorrência de auto-ignição e/ou explosão pelas elevadas concentrações de metano na atmosfera.</li> <li>• Alto custo para atualizar a planta.</li> </ul>

### **2.2.2.7 – Obtenção de energia elétrica**

Segundo HENRIQUES (2004), a estimativa da geração de eletricidade anual pode ser calculada multiplicando o potencial de geração líquido pelo número de horas operadas no ano, definido pelo *fator de capacidade* (FC). Esse fator compreende a parcela de horas em um ano de um equipamento de geração, que está produzindo eletricidade com sua capacidade plena. O fator de capacidade pode ser calculado pela eq. (14):

$$FC = \frac{\text{energ. prod. (kWh/ano)}}{\text{capac. pico (kW)} \times 8760 \text{ (h/ano)}} \quad (14)$$

Segundo MUYLAERT (2000), os fatores de capacidades típicos para projetos de GDL variam entre 80 a 95% e são baseados na disponibilidade de GDL, no projeto da planta e nas taxas de parada do gerador (4% a 10% das horas anuais).

### **2.2.2.8 – Produção de energia**

Existem várias tecnologias para geração de energia elétrica como motores de combustão interna, turbinas de combustão, e turbinas com utilização do vapor (ciclo combinado).

As plantas de ciclo combinado, quando comparadas com as plantas convencionais, mostram-se mais eficientes para a utilização de energia de aterro, em razão de o rendimento das plantas de ciclo combinado situar-se entre 45-50% e o das plantas convencionais entre 30-40% (GASNET, s/d).

As plantas de ciclo aberto apresentam-se como uma possibilidade para o uso do biogás. Uma vez que esteja separado do CO<sub>2</sub> (o que faz com que haja um aumento do rendimento), o biogás pode ser usado em turbinas à gás. Essas turbinas têm um desempenho um pouco inferior às plantas de ciclo combinado, mas também se mostram eficientes para a conversão em energia.

De acordo com HENRIQUES (2004), o aproveitamento energético com a tecnologia de GDL pode ser calculado pela eq. (15):

$$EP = RSU \times FP \times d \times FC \times FCP \times E \quad (15)$$

Onde:

- EP – Energia potencial calculada (TWh/ano);
- RSU – quantidade de resíduos sólido urbanos (G kg/ano);
- FP – Fator de produção de metano (t CH<sub>4</sub>/t RSU);
- d – densidade (m<sup>3</sup>/kg);
- FC – Fator de conversão (k Wh/m<sup>3</sup>);
- FCP – Fator de capacidade da planta (%);
- E – Eficiência da planta utilizada (%).

### 2.2.2.9 – Modelos de estimativa da geração de GDL

Os modelos matemáticos são ferramentas úteis e econômicas para avaliar o potencial de geração de GDL no local. Os resultados podem ser utilizados para avaliar o potencial para migração/emissões de GDL perigosas e para avaliar a viabilidade do projeto de gestão do GDL. Atualmente, existem vários modelos matemáticos disponíveis para calcular a produção de gás de lixo.

- **Modelo de Primeira Ordem (First order model – TNO)**

O efeito da redução de carbono nos resíduos pelo tempo é descrito pelo Modelo de Primeira Ordem (OONK et.al.\* apud SCHARFF & JACOBS, 2006). A formação do GDL a partir de certa quantidade de resíduos decai exponencialmente pelo tempo. O TNO pode ser descrito matematicamente pela eq. (16):

$$\alpha_t = \zeta 1,87 A C_0 k_1 e^{-k_1 t} \quad (16)$$

Onde:

$\alpha_t$  – produção de gás em um dado tempo ( $m^3GDL.ano^{-1}$ )

$\zeta$  – fator de dissimilação 0,58

1,87 – fator de conversão ( $m^3GDL. kgC^{-1}_{degradação}$ )

A – quantidade de resíduo no local (Mg)

$C_0$  – quantidade de carbono orgânico no resíduo ( $kgC.Mg\ resíduo^{-1}$ )

$k_1$  – taxa de degradação constante 0,094 ( $ano^{-1}$ )

t – tempo aterrado desde o depósito (ano)

O modelo permite ao usuário obter o cálculo da produção de GDL baseado na degradação do carbono orgânico no resíduo. Toda emissão é expressa em Gg de metano por ano. Considera-se, nesse modelo, que a matéria orgânica é predominantemente composta de celulose. A biodegradação da celulose pode ser quimicamente descrita pela eq. (17):

---

\* OONK, J.; WEENK, A.; COOPS, O.; LUNING, L. (1994). *Validation of landfill gas formation models*. NOVEM Programme Energy Generation from Waste and Biomass (EWAB), TNO report 94-315, Apeldoorn, Netherlands. apud SCHARFF, H.; JACOBS, J. (2006). *Applying Guidance for Methane Emission Estimation for Landfills*. <http://www.sciencedirect.com> (05/dez.2006).



Onde:

$C_6H_{12}O_6$  - (180gMO/mol= 72gC/mol)

$3CH_4$  - (48g/mol)

$3CO_2$  - (132g/mol)

Portanto:

- Produção de metano por kg de matéria orgânica (MO) degradada:

$$48/(180 \times 714) = 0,373 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 0,75 \text{ m}^3 \text{ GDL}$$

- Produção de metano por kg de carbono (C) degradado:

$$48/(72 \times 714) = 0,933 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 1,87 \text{ m}^3 \text{ GDL}$$

Para esse cálculo, multiplica-se a produção de metano e de GDL por uma concentração de 50% de metano e massa volumétrica de 714 gCH<sub>4</sub>. m<sup>-3</sup>. A fim de derivar a emissão de metano, com base na estimativa de produção, o seguinte cálculo, expresso pela eq. (18), pode ser usado:

$$Emiss\tilde{a}o \text{ CH}_4 = produ\tilde{c}\tilde{a}o \text{ CH}_4 - recupera\tilde{c}\tilde{a}o \text{ CH}_4 - oxida\tilde{c}\tilde{a}o \text{ CH}_4 \quad (18)$$

A equação 18 pode e tem sido utilizada por muitos modelos de aproximação, como os modelos de Primeira ordem (TNO), multi-fase (Afvalzorg e GasSim) e LandGEM (EPA, 2005). É importante, nesses modelos de aproximação, exatidão no modelo de produção. A recuperação pode ser medida com exatidão. Entretanto, a oxidação do metano não é exata, sendo adotado, geralmente, um valor de 10%.

- **Modelo Multi-fase**

Segundo SCHARFF & JACOBS (2006), o modelo multi-fase foi desenvolvido em 1996, Afvalzorg. Os diferentes tipos de resíduos possuem diferentes frações de material orgânico, que contem diferentes taxas de degradação. A vantagem do modelo multi-fase é que a composição típica dos resíduos pode ser levada em consideração. Nesse modelo, distinguem-se oito categorias de resíduos e três frações.

Para algumas categorias de resíduo, não há dados disponíveis sobre a quantidade de material orgânico e carbono contidos. A fim de expressar a incerteza dessa aproximação, um mínimo e um máximo de quantidade de matéria orgânica foram atribuídos a cada fase de cada categoria. Com a inclusão dos valores mínimo e máximo para o fator de conversão, o resultado é a melhor estimativa das produções mínima e máxima de metano e, conseqüentemente, da emissão de metano. Para calcular a emissão de metano em Gg por ano, a produção de GDL é multiplicada com uma concentração de metano de 50% e 714 gCH<sub>4</sub>.m<sup>3</sup>. A quantidade de metano recuperada com esse sistema é subtraída e um fator de oxidação padrão 10% pode ser aplicado de acordo com eq. (18).

Para cada fração, é calculada a produção de GDL separadamente. O modelo multi-fase pode ser descrito matematicamente pela eq. (19):

$$\alpha_t = \zeta \sum_{i=1}^3 cAC_{0,i}k_{1,i}e^{-k_{1,i}t} \quad (19)$$

Onde:

$\alpha_t$  – produção de gás em um dado tempo (m<sup>3</sup>GDL.ano<sup>-1</sup>)

$\zeta$  – fator de dissimilação

$i$  – fração de resíduos com taxa de degradação  $k_{1,i}$  [kg<sub>i</sub>.kg<sup>-1</sup><sub>resíduo</sub>]

$c$  – fator de conversão (m<sup>3</sup>GDL. kgMO<sup>-1</sup><sub>degradação</sub>)

$A$  – quantidade de resíduo no local (Mg)

$C_0$  – quantidade de material orgânico no resíduo (kgMO.Mg resíduo<sup>-1</sup>)

$k_{1,i}$  – taxa de degradação constante da fração (ano<sup>-1</sup>)

$t$  – tempo aterrado desde o depósito (ano)

- **LandGEM (Versão 3.02)**

O LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model* – Modelo de Emissão de Gases em Aterros Sanitários), é um programa desenvolvido pelo CTC (*Control Technology Center* – Centro de Controle de Tecnologia) da EPA (*Environmental Protection Agency* – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) em 2005 (EPA, 2005).

O LandGEM é um modelo matemático utilizado para contabilizar quantidade e variações na geração de gases em aterros, calculando, além do metano, a emissão de 49 outros componentes.

O programa LandGEM adota parâmetros variáveis de acordo com o clima da região e com o tipo de resíduos gerados. Esse modelo usa uma equação de primeira ordem (eq. 20) para calcular a estimativa anual das emissões pelo período especificado.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] e^{-kt_{ij}} \quad (20)$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  = geração anual de metano para o ano calculado ( $m^3$ /ano);

$i = 1$  - acréscimo por ano;

$n$  = ano do cálculo (ano inicial de abertura do aterro);

$j = 0,1$  - acréscimo por ano;

$k$  = taxa de geração de metano ( $ano^{-1}$ );

$L_0$  = potencial de geração de metano ( $m^3$ /Mg);

$M_i$  = massa de resíduos recebidos no ano em cada seção (Mg);

$t_{ij}$  = ano, em cada seção, de recebimento da massa de resíduos (tempo, com precisão de decimais, por exemplo, 3,2 anos).

Esse modelo pode ser usado tanto com os dados específicos do local, quanto com dados padrões para estimar as emissões de gases em aterros sanitários de resíduos sólidos municipais. O programa possui dois conjuntos de parâmetros para o cálculo da geração de metano em aterros sanitários:

- a) AP42 (*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*) – utiliza os parâmetros de  $L_0 = 100 m^3/t$  de resíduos e  $k=0,02 ano^{-1}$  (regiões áridas < 635 mm/ano) ou  $k=0,04 ano^{-1}$  (regiões áridas > 635 mm/ano).
- b) CAA (*Clean Air Act*) – utiliza os parâmetros de  $L_0 = 170 m^3/t$  de resíduos e  $k=0,02 ano^{-1}$  (regiões áridas <635 mm) ou  $k=0,05 ano^{-1}$  (regiões áridas >635 mm/ano).

Os parâmetros  $L_0$  e  $k$  são os mais importantes da eq. 20, pois refletem variações de acordo com local, clima, tipo de resíduos etc. Teoricamente o fator  $k$  varia de 0,003 a 0,21 ( $ano^{-1}$ ), porém, nas condições brasileiras, o fator pode ser aplicado com magnitudes de 0,05 até 0,15. Já o fator  $L_0$  é proporcional à porcentagem de matéria orgânica presente nos resíduos, e pode variar de 0 (ausência de material degradável) até 300  $m^3/t$ . Como no Brasil a matéria orgânica constitui cerca de metade dos RSUs, o valor para  $L_0$  varia de 140 até 190  $m^3/t$  (CEPEA, 2004).

- **Modelo GasSim**

O modelo GasSim (Versão 1.00, Junho 2002) é equipado com duas aproximações para calcular a estimativa da emissão de metano (GOLDER, 2002). A primeira aproximação usa a equação multi-fase do GasSim que é baseado no modelo multi-fase descrito por SCHEEPERS e VAN ZANTEN\* apud SCHARFF & JACOBS (2006). A segunda aproximação para estimar a formação de GDL é a mesma utilizada no modelo LandGEM. Assim, da mesma forma que o modelo LandGEM determina a massa de metano gerada, usando o potencial de geração de metano e a massa de carbono depositada, o modelo GasSim faz a mesma determinação. A qualidade do GDL gerada é determinada usando o potencial de geração de metano e a relação de metano com dióxido de carbono. O modelo pode ser descrito matematicamente pela eq. (21):

$$L_1 = \frac{L[1/([CH_4]/100)]}{V_m} M \quad (21)$$

Onde:

$L_1$  = Potencial de geração de GDL (g/t)

$V_m$  = Volume molar (em CNTP) ( $2,241 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ )

$M$  = Massa molar relativa de carbono ( $\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ )

$[CH_4]$  = Concentração de metano no GDL (%)

Após a determinação de  $L_1$  a massa disponível de carbono degradável pode ser determinada pela eq. (22):

$$C = C_i \times L_1 \quad (22)$$

Onde:

$C$  = Massa de carbono degradável (Mg)

$C_i$  = Massa de carbono depositada (Mg)

Para determinar a formação de metano,  $L_1$  e  $C$  são aplicados em um modelo de primeira ordem como descrito anteriormente, e a emissão de metano determinada pela eq. (18).

---

\* SCHEEPERS, M.J.J., VAN ZANTEN, B., 1994. Handeleiding Stortgaswinning (in Dutch), Adviescentrum Stortgas, Utrecht, Netherlands. apud SCHARFF, H.; JACOBS, J. (2006). *Applying Guidance for Methane Emission Estimation for Landfills*. <http://www.science-direct.com> (05/dez.2006).

- **Modelo EPER da França**

O modelo Francês EPER (BUDKA\* apud SCHARFF & JACOBS, 2006) faz combinação de duas aproximações para estimar a emissão de metano. O modelo pode ser dividido em dois cálculos:

- a) Prognóstico de emissão de metano para células de aterro conectadas ao sistema de recuperação de GDL com uso de dados de recuperação de GDL pelo operador do aterro.
- b) Prognósticos de emissões de metano das células não conectadas ao sistema de recuperação de GDL por um modelo convencional multi-fase (ADEME versão 15/12/2002).

O modelo descreve três categorias de resíduos e cada categoria tem uma formação específica de GDL com capacidade por tonelada de resíduo. As três categorias são apresentadas na TABELA 6.

A emissão de metano em células de aterro conectadas ao sistema de recuperação de GDL pode ser calculada com a eq. (23):

$$A = F \times H \times [CH_4] \quad (23)$$

Onde:

A – Quantidade recuperada de GDL ( $m^3 CH_4 \cdot ano^{-1}$ )

F – Taxa de extração de GDL ( $m^3 GDL \cdot h^{-1}$ )

H – Horas de operação anual do compressor ( $h \cdot ano^{-1}$ )

CH<sub>4</sub> – concentração de metano no GDL (%)

O valor da quantidade recuperada de GDL, designada por A é, então, corrigido para  $Nm^3 \cdot ano^{-1}$ , levando-se em consideração a pressão e a temperatura ambiente (CNTP), no momento da amostragem de qualidade do gás. A área superficial das células conectadas ao sistema de recuperação de GDL e o tipo de cobertura presente sobre aquela célula, determinam a eficiência de recuperação. O modelo permite calcular a produção de metano. Por exemplo, a zona em operação que não tem camada de cobertura e é conectada em um sistema de recuperação de GDL irá apresentar uma eficiência de coleta de GDL DE 35%. O restante, 65%, será eventualmente emitido para

---

\* BUDKA, A. (2003). Personal communication. apud SCHARFF, H.; JACOBS, J. (2006). *Applying Guidance for Methane Emission Estimation for Landfills*. <http://www.sciencedirect.com> (05/dez.2006).

a atmosfera. A produção de metano para células conectadas ao sistema de recuperação de GDL é calculada pela eq. (24):

$$P = \frac{A}{\eta} \quad (24)$$

Onde:

P – produção de metano ( $\text{m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$ )

$\eta$  – Eficiência de recuperação (%)

A emissão de metano é, então, determinada similarmente pela eq. (18).

A formação de GDL das células de aterro que não são conectadas ao sistema de recuperação de GDL é calculada por uma equação multi-fase seguindo o modelo ADEME, que pode ser descrito pela eq.(25):

$$FE_{CH_4} = \sum_X FE_0 \left( \sum_{1,2,3} A_i p_i k_i e^{-kt} \right) \quad (25)$$

Onde:

$FE_{CH_4}$  – Produção anual de metano ( $\text{Nm}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ )

$FE_0$  – Potencial de geração de GDL ( $\text{m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{t}^{-1}$  de resíduos)

$p_i$  – Fração de resíduos com taxa de degradação  $k_i$  ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de resíduos)

$k_i$  – Taxa de degradação da fração  $i$  ( $\text{ano}^{-1}$ )

$t$  – Idade do resíduo (ano)

$A_i$  – Fator de normalização

**TABELA 6 – Categoria de resíduo de acordo com o modelo ADEME**

<b>CATEGORIA I</b>	<b>CATEGORIA II</b>	<b>CATEGORIA III</b>
Resíduo Sólido Municipal	Resíduo Industrial	Inertes
Lamas	Resíduo Comercial	Resíduos não-degradáveis
Resíduos de Jardim	Resíduos Biológico pré-tratado	

Fonte: SCHARFF & JACOBS (2006)

O modelo EPER adota um potencial de oxidação da camada de cobertura de 10%. O total de metano emitido pode ser calculado pela eq.(26):

$$\text{Emissão } CH_4 = P(1 - \eta) \times 0,9 + FE_{CH_4} \times 0,9 \quad (26)$$

Onde:

$\eta$  – eficiência de recuperação

- **Modelo EPER da Alemanha**

O modelo EPER (HERMANN, 2005) usado na Alemanha, é um modelo com base em reação de ordem zero e pode ser descrito matematicamente pela eq. (27).

$$M_e = M \times BDC \times BDC_f \times F \times D \times C \quad (27)$$

Onde:

$M_e$  - Quantidade de emissão difusa de metano ( $Mg \cdot ano^{-1}$ )

M - Quantidade anual de resíduo depositado (Mg)

BDC – Relação de carbono biodegradável ( $Mg \ C.Mg^{-1}$  de resíduo)

$BDC_f$  – Relação de carbono biodegradável convertido em LFG (%)

F – Fator de cálculo de conversão de carbono em  $CH_4$

D – Eficiência de coleta (ativo com perda de GDL – 0,4; não recuperado -0,9; GDL ativo, recuperado e coberto – 0,1)

C – concentração de metano 50 (%)

### 2.2.2.10 – Considerações dos modelos de estimativa da geração de GDL

SCHARFF & JACOBS (2006) realizaram um estudo com três aterros sanitários utilizando os seis diferentes modelos descritos acima, para estimar a emissão de metano. O autor constatou que há uma enorme diferença nas estimativas de metano para os seis modelos aplicados nos três aterros. A seguir, são apresentadas algumas considerações sobre os modelos feitas pelos autores.

- **Modelo de Primeira Ordem (First order model – TNO)**

O TNO é modelo direto, que tem um número limitado de parâmetros, sendo de fácil utilização. Os resultados seguem um padrão que pode ser reconhecido por outros modelos de primeira ordem. O modelo estima a emissão de metano com algumas categorias de resíduos, como usada no modelo Afvalzorg. A estimativa, no modelo TNO, foi, no entanto, superior a do Afvalzorg. Isso pode ser explicado pelo

alto índice de carbono em alguns tipos de resíduos e suposição de uma única fase de carbono no modelo TNO. Supõe-se que todo o carbono orgânico presente nos resíduos seja potencialmente convertido. Entretanto, algum carbono não é convertido porque não é anaerobicamente biodegradável ou por causa das condições do aterro sanitário, que não permitem a biodegradação. Isso é descrito pelo fator de dissimilação. Esse fator, que é maior no modelo multi-fase Afvalzorg, descreve a porcentagem de carbono que é realmente degradada. A combinação entre o conteúdo de carbono e o fator de dissimilação resulta na suposição de uma maior geração potencial de metano estimada pelo modelo TNO em relação ao modelo Afvalzorg.

- **Modelo Multi-fase (Afvalzorg)**

Nesse modelo, também, os resultados seguem um padrão que pode ser reconhecido por outros modelos de primeira ordem.

- **LandGEM**

A desvantagem do LandGEM é que não há diferença no teor da matéria orgânica. Nesse modelo, todos os resíduos são considerados resíduos sólidos municipais. Portanto, é de esperar que as estimativas, tanto do modelo LandGEM US-EPA quanto do GasSim LandGEM, sejam superiores aos demais. No entanto, os resultados do LandGEM, adotando os parâmetros AP42, foram mais próximos aos valores medidos no aterro predominante de resíduos domésticos e comerciais do que os outros modelos.

- **GasSim**

Nesse modelo, os resultados em dois aterros foram similares ao modelo TNO. Em um dos aterros analisados por SCHARFF & JACOBS (2006), a estimativa do modelo multi-fase GasSim foi superior aos demais modelos. Nesse aterro, principalmente no primeiro período de operação, os resíduos predominantes eram os comerciais, que possuem um alto teor de carbono, explicando a obtenção de valores mais altos.

- **Modelo EPER da França**

Esse modelo apresenta duas aproximações, das quais, somente a segunda aproximação segue um padrão de estimativa similar aos outros modelos de

primeira ordem. As estimativas, nesse modelo, foram baixas, podendo ser comparadas com as estimativas do modelo multi-fase de Afvalzorg. Isso pode ser explicado pela maior parte dos resíduos serem inertes ou não biodegradáveis, apresentando uma taxa de geração de metano nula.

- **Modelo EPER da Alemanha**

As maiores flutuações na estimativa de emissão de metano foram verificadas nesse modelo. Em todos os três aterros estudados, segundo os autores (op.cit), esse modelo superestimou a emissão de metano nos primeiros 10 anos da operação e subestimou-a nos últimos cinco. O modelo alemão pode dar estimativas da emissão até 9 anos após o fechamento do aterro.

Esses modelos foram, também, comparados com três técnicas de medição de emissão de metano aplicadas nos aterros sanitários.

Comparando com a emissão média de metano, medida nos três aterros, os modelos TNO, GasSim multi-fase, o GasSim LandGEM e o LandGEM (US-EPA) superestimaram a emissão de metano no período de 1999-2000, enquanto o Afvalzorg multi-fase, o modelo EPER da França e o da Alemanha subestimaram a emissão no mesmo período. O modelo Afvalzorg multi-fase para dois dos aterros estudados apresentaram estimativas similares aos valores medidos. Isso porque esse método já tinha utilizado resultado de medidas para ajustar o seu programa.

### **2.2.3 – Incineração**

A incineração, uma das tecnologias mais antigas e mais empregadas para o tratamento térmico dos RSM e *resíduos de serviço de saúde* (RSS), é a queima por um tempo pré-determinado de materiais em alta temperatura (geralmente acima de 900°C) misturados com uma quantidade de ar apropriada (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000). Nesse processo, ocorre a redução de peso e volume do lixo pela combustão controlada (LIMA, 2004) e, conseqüentemente, das características de periculosidade e patogenicidade contida nos resíduos.

De acordo com MENEZES et.al. (2000), esta definição deve ser ampliada, pois a incineração é também um processo de reciclagem da energia liberada na queima dos materiais. Essa energia pode ser convertida para geração de vapor utilizado para aquecimento, refrigeração ou produção de energia elétrica.

Esta tecnologia reduz o volume total dos resíduos destinados ao aterro sanitário em aproximadamente 4% (HENRIQUES, 2004), o que representa uma vantagem no gerenciamento dos RSU, pois prolonga a vida útil dos aterros sanitários diminuindo a necessidade de áreas municipais destinadas a tal fim. Além disso, apresenta uma grande eficiência na conversão de energia com resíduos.

Alguns estudos mostram a viabilidade de utilizar os sub-produtos deste processo, as cinzas, na construção civil.

### **2.2.3.1 – Incineração no Brasil**

A incineração é um dos processos mais antigos para tratamento térmico dos resíduos e tem sido utilizada desde o início do século XX. Nas últimas décadas, tem sido amplamente utilizada com tecnologias modernas e confiáveis. Atualmente, quase todos os incineradores estão sendo projetados com aproveitamento energético.

O primeiro incinerador municipal no Brasil foi instalado em 1896, em Manaus, para processar 60 t por dia de resíduos domésticos, tendo sido desativado somente em 1958 por problemas de manutenção. Um equipamento similar foi instalado em Belém e desativado em 1978 pelos mesmos motivos (MENEZES et.al.,2000).

Em 1913, foi instalado um incinerador especial no município de São Paulo, com capacidade para 40 t/dia de lixo, provido de um sistema de recuperação de energia, que consistia de uma caldeira e um alternador. No entanto, devido a problemas de adaptação à rede elétrica foi desativado e substituído por motores elétricos convencionais que foram desativados em 1949 e demolidos em 1953. Além deste, foram instalados mais três incineradores: Pinheiros, em 1944; Região de Vergueiro, em 1959, e Bom Retiro, em 1967 (op.cit.).

Segundo LIMA (2003), as tecnologias, tanto dos primeiros incineradores municipais no Brasil quanto dos instalados em São Paulo em 1959 e 1967, eram antigas e não atendiam aos padrões de controle de poluição exigidos pela legislação vigente. A função principal das plantas era reduzir o volume do lixo. Assim, os gases gerados eram lançados diretamente na atmosfera, sem nenhum tipo de tratamento.

Em 1950, no Rio de Janeiro, com o surgimento da construção de prédios de vários andares, foram instalados vários incineradores prediais para queimar os

resíduos gerados nos apartamentos. Entretanto, foram banidos em 1969 e 1970 por não possuírem nenhum controle do processo de incineração.

Os atuais incineradores distinguem-se das unidades antigas, principalmente pela forma como os resíduos são colocados no interior do forno e pelos volumes de lixo que são eliminados. Para pequenas quantidades de lixo, entre 100 kg/h até 1000 kg/h, são empregados os incineradores do tipo câmaras múltiplas com grelha fixa. Para volumes acima destes valores é adotado o incinerador do tipo grelha móvel ou do tipo forno rotativo (MENEZES et.al., 2000).

A partir de 1970, começaram a ser implantados incineradores especificamente desenvolvidos para o tratamento de resíduos classificados como especiais (aeroportuários, hospitalares e industriais).

Em 1994, foi lançado um grande projeto, também em São Paulo, para a construção de dois novos incineradores de grande capacidade, cada um com 2500 t/dia. Até 1998, no entanto, o projeto continuava em compasso de espera, apesar de já ter sido licitado, aguardando definições dos esquemas de remuneração pelos serviços prestados, que ofereçam garantias ao empreendedor pelo longo prazo de concessão oferecido pelo poder público. Existem também mobilizações da opinião pública incentivadas por entidades ambientalistas que, desconhecendo as tecnologias atuais e as garantias de não poluição do meio ambiente, fazem forte pressão contrária.

A incineração no Brasil ainda se caracteriza pela existência de grande quantidade de incineradores de pequeno porte, instalados principalmente em hospitais, os quais operam de forma precária, sem manutenção adequada e sem controle de emissões atmosféricas.

No Brasil o processo de incineração ganhou o conceito de poluidor, nocivo à saúde e prejudicial ao meio ambiente devido ao uso de equipamentos obsoletos ou à operação e manutenção inadequada. Essa visão negativa, ainda é marcante para grande parte da população brasileira. Na Europa e nos Estados Unidos, em função da modernização de plantas antigas ou da construção de novas plantas de incineração que contemplam a adoção de sistemas de controle automatizados dos processos de combustão e de depuração das emissões gasosas e líquidas, a operação dessas unidades tem sido muitas vezes acompanhada pelas comunidades locais (MENEZES et al., 2000).

Enquanto a tendência mundial é de aproveitar os resíduos urbanos para a geração de energia, no Brasil, embora existam alguns projetos neste aspecto,

nenhum é efetivamente representativo. Em vários países já se encontram termelétricas movidas a carvão e lixo em fornos contínuos e com os ciclos de vapor integrados na geração de energia elétrica. No Brasil, as termelétricas a gás de lixo, também, já deveriam estar sendo implantadas, de forma a contribuir para equacionar dois grandes problemas: de energia e do tratamento ambientalmente correto do lixo, para atender as exigências do meio ambiente.

### **2.2.3.2 – Tecnologia para a incineração**

Atualmente, existem várias tecnologias para a incineração de resíduos, como a combustão de sais fundidos, incineradores de combustão de grelha, de leito fluidizado, de plasma e de dupla câmara. Essas tecnologias não serão detalhadas, neste estudo, por não fazerem parte do escopo do trabalho.

### **2.2.3.3 – Vantagens e desvantagens da incineração de RSU**

O processo de incineração de RSU apresenta aspectos positivos e negativos, conforme pode ser observado na TABELA 7.

**TABELA 7 – Vantagens e Desvantagens da Incineração de RSU**

<b>INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS</b>	
<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Instalações em áreas pequenas	Inviabilidade com resíduos de menor poder calorífico e clorados.
Processamento relativamente sem ruídos e sem odores.	Combustão prejudicada por Umidade excessiva e resíduos de menor poder calorífico.
Redução do volume requerido para a disposição em aterros.	Necessidade de utilização de equipamento auxiliar para manter a combustão.
Recuperação de energia durante a combustão.	Possibilidade de concentração de metais tóxicos nas cinzas.
Alimentação contínua de resíduos	Altos custos de investimento, operação e manutenção.

#### **2.2.3.4 – Energia elétrica a partir da incineração de RSU**

A *Agência Internacional de Energia* (IEA, 1997) realizou um estudo de prospecção no qual se mostra a evolução da disponibilidade de RSU para uso em incineradores, objetivando à geração em energia elétrica. Estima-se que para o ano de 2025, a América do Norte, Europa e Oceania serão responsáveis por cerca de 29, 31 e 14 Mtep de energia primária, respectivamente.

A tecnologia atualmente disponível de projeto de incineradores pode prever a geração de até 0,95 MWh/t processada, sendo que a grande maioria dos sistemas instalados gera de 0,4 a 0,95 MWh/t de capacidade. Naturalmente, esta geração dependerá fortemente do poder calorífico dos RSU processados (MENEZES et.al., 2000). É aconselhável o uso de resíduos de maior poder calorífico como plásticos, papéis etc.

Segundo TOLMASQUIM (2003), com a incineração controlada dos RSU, é possível, com 500 toneladas diárias, abastecer uma usina termelétrica com potência instalada de 16 MW, o que representa um potencial energético por volta de 0,7 MWh/t.

É importante ressaltar que há diferenças conceituais entre a incineração de RSU e as demais tecnologias de aproveitamento das fontes renováveis de energia. Entende-se que uma fonte renovável de energia está associada a um fluxo contínuo de produção; já uma fonte não renovável compreende a disponibilidade em uma determinada quantidade. Nesses termos conceituais, pode-se dizer que a incineração não se agrupa como uma tecnologia que faz uso de uma fonte renovável, visto que a fonte primária é um produto da dinâmica da sociedade. Além disso, já que sua exploração é dominada por considerações não energeticamente relacionadas (i.e. prática da disposição de resíduos), verifica-se que o atual uso da incineração como recuperação energética está em segundo plano. Por causa disso, muitas das barreiras ambientais sobre a incineração ocorrem independentemente de qualquer operação para recuperação de energia (IEA, 1997).

A incineração ainda é muito mais uma opção para disposição final de resíduos do que uma fonte de energia renovável. Sendo assim, quando se buscam os méritos da incineração é importante considerar a estratégia global de disposição de RSU, para que o impacto e os benefícios da recuperação de energia da incineração de resíduos possam ser comparados aos outros métodos de disposição de resíduos (op.cit.).

### **2.2.4 – Tecnologia BEM**

A tecnologia BEM (Biomassa – Energia – Materiais) vem sendo desenvolvida desde o final da década de 80, por um grupo de pesquisadores no interior de São Paulo, liderado pelo professor Daltro Pinatti e pelo Grupo Peixoto de Castro. O objetivo é desenvolver as tecnologias dos materiais lignocelulósicos (madeiras, bagaço de cana, capim, resíduos agrícolas, parte orgânica do lixo etc.) e de digestão material (monazita, zirconita, etc.). Para tal, têm-se utilizados reatores de aço de carbono revestido com metais refratários. Nesse processo, as biomassas são transformadas em dois produtos a celullignina, utilizada como combustível, ração animal e madeira sintética, entre outros produtos; o pré-hidrolisado (solução de açúcares) usado em produtos químicos tais como furfural, álcool, xilitol.

Nessa tecnologia, a biomassa presente nos RS é picada e compactada no silo. Uma rosca helicoidal comprime a biomassa dentro de um reator piloto (com cerca de 1 m<sup>3</sup>). Os dois produtos fundamentais desta reação são uma parte hidrolisada sólida (celullignina) e uma parte líquida pré-hidrolisada (solução de açúcares que foi digerida no processo).

O processo de fabricação da celullignina consiste nos seguintes passos (TOLMASQUIM, 2003):

- a) O enchimento do reator é realizado por um alimentador helicoidal que compacta a biomassa até a densidade de 300 kg/m<sup>3</sup>. Adiciona-se ácido sulfúrico residual industrial diluído.
- b) Depois de adicionado o ácido, é feito um aquecimento direto e o reator fica girando para que a mistura aqueça de forma homogênea e melhore o processo. A reação dura cerca de 30 minutos, mas caso o reator seja estático poderá durar entre 2,5 a 3 horas.
- c) O consumo de energia para a produção de celullignina equivale a 6,3% da energia contida na celullignina produzida, indicando um valor 5 vezes menor do que os valores obtidos pelos reatores clássicos utilizados em processos de hidrólise ácida de biomassa.

- **A celullignina**

A produção de celullignina, a partir dessa tecnologia, aumenta o teor de carbono em cerca de 30%, se comparado ao material orgânico original. A celullignina produzida possui níveis menores de potássio e sódio, comparado ao

material original, passando a ser um combustível possível de ser queimado em turbinas a gás de ciclo combinado. Com relação ao teor de açúcar, este aumenta muito depois do aquecimento da mistura e logo depois se estabiliza. Esse aumento repentino pode ser explicado pelo início das erupções nas paredes celulares.

A celulignina sai úmida do reator, passa por secador e é moída. Sua queima ocorre como se fosse gás, pois ela é pulverizada no combustor.

- ***O pré-hidrolisado***

A solução segue para um segundo reator no qual é aquecida a 220°C e torna-se furfural. O furfural possui inúmeras aplicações, dentre elas o PHF, uma mistura de combustível já utilizada na Califórnia, por se tratar de combustível limpo, composto por 20% de furfural, 50% de álcool e o restante de gasolina. O furfural segue para uma tancagem e, depois de aquecido, passa por uma destilação. O vinhoto da planta é transferido para a unidade de tratamento de água onde é retirado o lodo. Esse lodo, depois de seco, é tratado por um processo de conversão à baixa temperatura, que gera carvão e óleo, que podem ser queimados. O processo leva de 2 a 2,5 horas.

### ***2.2.5 – Impactos ambientais das tecnologias***

A decomposição dos RS aterrados gera uma mistura de gases composta principalmente por CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (metano). O metano disperso na atmosfera retém 21 vezes mais energia calorífica do que o dióxido de carbono, o que contribui significativamente para a ampliação do efeito estufa. Este fato leva os países europeus a preferirem outras alternativas de disposição final aos aterros sanitários, que segundo eles poluem mais em termos de aquecimento global.

Em seqüência, são apresentados os impactos ambientais de cada uma das tecnologias.

- ***Digestão anaeróbia acelerada***

O processo de digestão anaeróbia favorece ao desenvolvimento equilibrado entre o homem e a natureza uma vez que recupera energia, reduzindo a demanda por combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, permite, pela compostagem, que os nutrientes do composto produzido voltem ao solo, mantendo o ciclo fechado para os nutrientes.

Nessa tecnologia, caso o resíduo a ser tratado seja composto de enxofre, muitos compostos intermediários passam a ser utilizados pelas BRS, provocando uma competição entre BRS e as bactérias metanogênicas pelos substratos disponíveis, alterando todo o metabolismo.

- ***Tecnologia do Gás de Lixo (GDL)***

O gás proveniente do lixo contém compostos orgânicos voláteis, um dos principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio, além de incluírem outros poluentes tóxicos. Quando o GDL é coletado e queimado em um sistema de geração de energia, esses compostos são destruídos, evitando os danos ambientais, além de ter um significativo potencial de reduzir o risco de mudança global do clima, uma vez que minimiza a emissão de gases de efeito estufa.

- ***Tecnologia de Incineração***

Qualquer processo de incineração deve ter um sistema tecnologicamente avançado de depuração de gases e de tratamento e recirculação dos líquidos do processo. Os gases resultantes desta tecnologia carregam grandes quantidades de substâncias em concentrações muito acima dos limites das emissões legalmente permitidas, o que requer um tratamento físico/químico para remover e neutralizar os poluentes provenientes do processo térmico.

Atualmente, no país, existem tecnologias disponíveis para projetar e instalar sistemas que garantam que as emissões para a atmosfera ou corpo líquido sejam feitas bem abaixo dos níveis de exigência das leis ambientais brasileiras.

Em cada fase do processo de incineração, é gerado um impacto diferente, como:

- Impactos da construção do incinerador: ruído, emissão de poluentes, acidentes, efeito no ecossistema local etc.;
- Impactos da coleta e transporte dos RSU: ruído, transporte, emissões atmosféricas, acidentes, odores etc.;
- Impacto do transporte e da disposição das cinzas de resíduos: a cinza é um material inerte, geralmente disposto em aterro sanitário, que pode ser disperso no ar, como poeira, durante o transporte ou aterramento, ou ainda, acidentalmente no descarte no local do aterro;
- Impacto da emissão da combustão: emissões atmosféricas, incluindo emissões de frações de dioxinas e metais pesados.

O impacto mais importante da incineração constitui na emissão de gases durante a combustão dos RSU. A combustão de resíduos emite, principalmente, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), dióxido sulfúrico ( $\text{SO}_2$ ) e, ainda, outros gases, em pequenas concentrações, como ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ), ácido fluorídrico ( $\text{HF}$ ) e metais pesados. Os gases e substâncias produzidos durante a combustão devem ser purificados antes de serem lançados na atmosfera, obedecendo a normas e legislações ambientais.

Os óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ) e o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) são produzidos em qualquer processo de combustão. Entretanto, por meio de um controle da queima e de um sistema de tratamento dos gases que saem das câmaras de combustão, é possível reduzir essas emissões a valores tecnicamente toleráveis.

No processo de incineração, há formação de dioxinas e furanos que são altamente prejudiciais ao meio ambiente e ao ser humano; porém, as altas temperaturas de queima quebram as ligações químicas, atomizando macromoléculas e praticamente zerando a possibilidade de formação destes compostos.

No processo de incineração com prévia segregação visando à reciclagem dos RS, ocorre a combustão basicamente da matéria orgânica. A maior parte do dióxido de carbono gerado a partir da queima desse resíduo é reabsorvida pela própria natureza através do processo de fotossíntese. Logo, a contribuição de gases de efeito estufa a partir da incineração do material orgânico, é praticamente nula.

- **Tecnologia BEM**

A queima da celulignina gera dióxido de carbono, gás de efeito estufa entre outros, porém não há estudos detalhados dessa combustão. A produção de furfural, caso não tenha aplicação prevista, pode gerar problemas ambientais quanto à sua disposição.

### **3 – GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ**

A seguir, são descritas as características geográficas, sociais, econômicas, culturais e do sistema de limpeza urbana do município de Itajubá.

#### ***3.1 – Caracterização do município***

O município de Itajubá está localizado no Sul de Minas Gerais, abrangendo uma área de 290,45 km<sup>2</sup> de extensão, sendo 219,75 km<sup>2</sup> de área rural e 61,25 km<sup>2</sup> de área urbana. Faz divisa com os municípios de São José Alegre, Maria da Fé, Wenceslau Brás, Piranguçu, Piranguinho e Delfim Moreira.

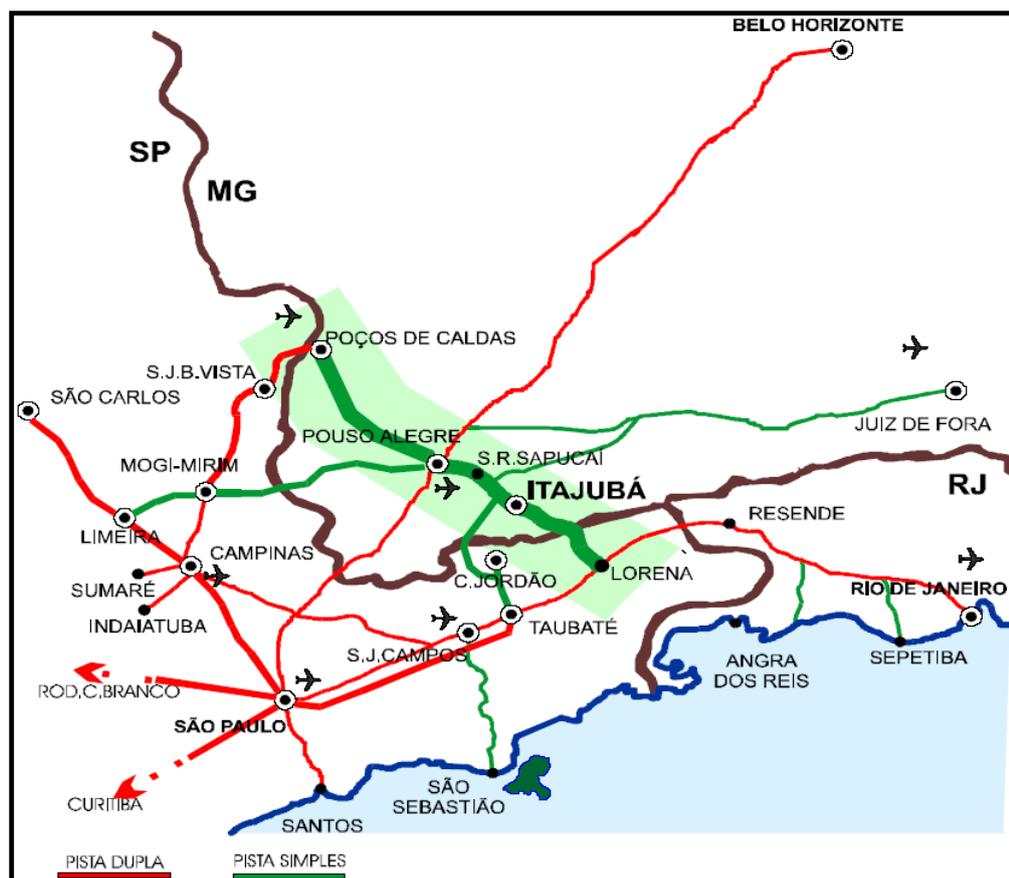
O município tem 57 bairros e, segundo o Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2000a), a cidade tem 84.071 habitantes. Itajubá pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Os principais rios são o Rio Sapucaí e o Ribeirão José Pereira.

A cidade é servida por uma malha viária que se apóia nas rodovias federais Fernão Dias e Dutra, cujo acesso se dá pela BR-459. A cidade está posicionada de forma privilegiada e estratégica entre os três maiores mercados do país: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Na FIGURA 10, é mostrada a localização do município de Itajubá.

#### ***3.1.1 – Caracterização do meio físico***

O clima do município é tropical e temperado, por estar situado nos limites meridionais da zona intertropical. Ocorrem oscilações bruscas de temperatura e há predominância de ventos SE. O índice pluviométrico anual médio é de 1.354 mm (BARBOSA, 2006).

A altitude máxima de 1743 m se encontra no Pico do Canta Galo e a altitude mínima se dá a 830 m na calha do Rio Sapucaí, na divisa com o município de Piranguinho.



**FIGURA 10 – Localização do município de Itajubá/MG**

Fonte: JÚNIOR (2007)

O município de Itajubá, bem como toda a região, é formado por relevo acidentado (Mantiqueira Meridional). Sua topografia é do tipo ondulada montanhosa. O território apresenta-se 10% plano, 12% ondulado e 78% montanhoso (FRAMIL, 2003).

Os relevos mais íngremes condicionam perfis pedológicos menos evoluídos, câmbicos e litólicos, com freqüentes exposições de rocha entremeadas. Nas formas mais suaves, devido às formações superficiais delgadas de textura argilosa e areno-argilosa, alternam-se horizontes latossólicos (Latosolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, sendo o primeiro de ocorrência mais usual) e Argissolos. Nas drenagens e baixios, instalam-se associações de sedimentos aluviais com solos hidromorfizados. Os solos possuem de mediana a boa fertilidade, predominando o seu uso para a pastagem e para a vegetação secundária (op.cit).

### 3.1.2 – Caracterização do meio antrópico

O município de Itajubá começou a se configurar em dezanove de março de 1819, data em que o Padre Lourenço da Costa Moreira celebrou a primeira missa, no altar erguido exatamente onde hoje se encontra a Matriz da Paróquia de Nossa Senhora da Soledade. A história da cidade iniciou-se com a descoberta das "minas de Itajubá", responsáveis pelo povoamento da região. Hoje conta com um parque industrial que fabrica tecidos, calçados, produtos alimentícios, telefones e munições. A cidade de Itajubá exerce influência direta sobre 14 municípios da região.

### 3.1.3 – Dinâmica populacional

De acordo com dados do IBGE (2000a), o município apresenta distribuições da população de acordo com as TABELAS 8, 9 e 10. A TABELA 8 apresenta dados relativos ao sexo da população e à distribuição dos domicílios (rural ou urbana), a TABELA 9 apresenta dados relativos a distribuição da população por idade e a TABELA 10 apresenta a distribuição da população com relação à cor. Pode-se perceber que a população é predominante urbana, branca e situa-se entre 25 e 59 anos.

**TABELA 8 – População total e sua respectiva distribuição percentual, por sexo e situação do domicílio, proporção de pessoas naturais do município de Itajubá.**

Total	Sexo (%)		Situação do Domicílio (%)	
	Masculino	Feminino	Urbana	Rural
84.135	49,0	51,0	91,5	8,5

Fonte: IBGE (2000a)

**TABELA 9 – Distribuição percentual da população residente, por grupos de idade.**

0 a 3 anos	4 a 6 anos	7 a 14 anos	15 a 17 anos	18 a 24 anos	25 a 59 anos	60 a 64 anos	65 anos ou mais
6,6	5,4	14,9	6,0	13,1	43,8	3,1	7,1

Fonte: IBGE (2000a)

**TABELA 10 – Distribuição percentual da população residente, por cor.**

Branca	Preta	Parda	Amarela	Indígena
81,6	4,2	13,9	0,1	0,2

Fonte: IBGE (2000a)

### **3.1.4 – Economia**

O município tem um dos maiores distritos industriais do sul de Minas, com indústrias de grande e médio porte, gerando aproximadamente 5500 empregos. Estão instaladas indústrias de vários ramos como autopeças, transformadores de medição, helicópteros, produtos cosméticos, armamento bélico, biomedicina, entre outros.

O comércio varejista de Itajubá é bem diversificado contando, atualmente, com aproximadamente 400 estabelecimentos registrados na *Associação Comercial, Industrial e Empresarial de Itajubá – ACIEI*. (NADUR, 2006)\*.

Além das atividades tradicionais, o artesanato, a agroindústria e a produção caseira são responsáveis por uma parcela das atividades econômicas da cidade. O artesanato é representado por uma associação de artesãos, que expõem seus trabalhos em duas feiras semanais.

Constata-se, também, no município uma alta densidade de profissionais e instituições qualificadas nos domínios da educação e do desenvolvimento tecnológico, como *Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)*, *Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Sul de Minas (FACESM)*, *Centro Universitário de Itajubá (UNIVERSITAS)*, *Faculdade de Medicina (FMIT)*, entre outras instituições.

### **3.2 – Caracterização do sistema de limpeza urbana**

Apresenta-se, a seguir, de forma sucinta, o sistema de limpeza urbana do município, conforme informações da *Prefeitura Municipal de Itajubá (PMI)*.

---

\* NADUR, J.G. (2006). ASSOCIAÇÃO COMERCIAL, INDUSTRIAL E EMPRESARIAL DE ITAJUBÁ (ACIEI) / Comunicação oral /

### **3.2.1 – Estrutura administrativa**

O sistema de limpeza urbana no município é vinculado à *Secretaria Municipal de Obras* (SEMOP), sendo alguns serviços terceirizados e outros realizados pela própria prefeitura. Os serviços constituem em fiscalização, varrição de logradouros públicos, capina, roçada, poda, limpeza de córregos, coleta regular e disposição final dos RSU.

O serviço de coleta, transporte e disposição final dos RSD no atual depósito de resíduos é realizado por empresa terceirizada, assim como os serviços de varrição de logradouros públicos, capina, roçada e poda.

A PMI é responsável pela coleta e pelo transporte de animais mortos, encaminhando-os ao depósito de resíduos, onde são aterrados. É responsável, também, pela limpeza dos cursos d'água que cortam o município.

A limpeza de lotes vagos é de responsabilidade dos proprietários, conforme o Código de Postura do município criado pela Lei Municipal 1795/91 (ITAJUBÁ, 1991).

A PMI, para executar e manter esses serviços, cobra uma taxa específica para a manutenção do sistema de limpeza urbana, inclusa no IPTU cobrado pelo município.

### **3.2.2 – Infra-estrutura, veículos e equipamentos**

O serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais é realizado por cinco caminhões compactadores e um graneleiro, de propriedade da empresa terceirizada.

### **3.2.3 – Serviços prestados pelo sistema de limpeza urbana**

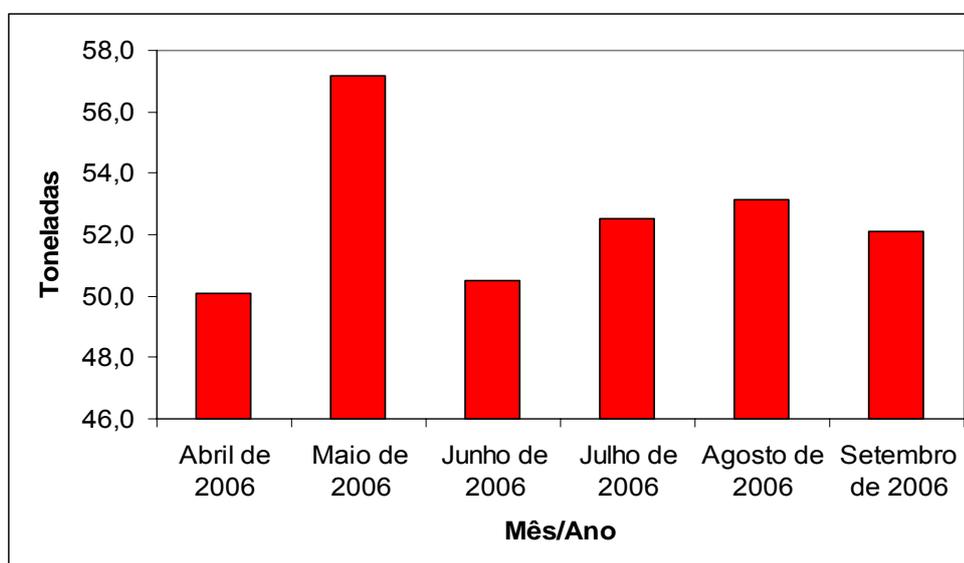
#### **3.2.3.1 – Serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos**

A coleta dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais no município é feita com a utilização de seis caminhões, sendo cinco dotados de equipamento compactador e um com carroceria de madeira do tipo graneleiro, utilizado para a coleta de resíduos comerciais e da zona rural. Na região central e nos bairros, a

coleta é realizada de segunda-feira a sábado em dias alternados, entre 7 e 16 horas nos bairros e das 14 às 22 horas na região central.

O serviço de coleta é executado por uma equipe composta por um motorista e por quatro coletadores por caminhão, num total de 25 funcionários, que utilizam uniforme completo, além de luva, bota, faixa refletora e *equipamentos de proteção individual* (EPI's).

A coleta na zona urbana é realizada com veículos coletores compactadores com capacidade de quatro toneladas. Cada um realiza em média três viagens por dia, coletando aproximadamente 53 toneladas por dia (FIGURA 11). Os resíduos começaram a ser pesados em abril de 2006.



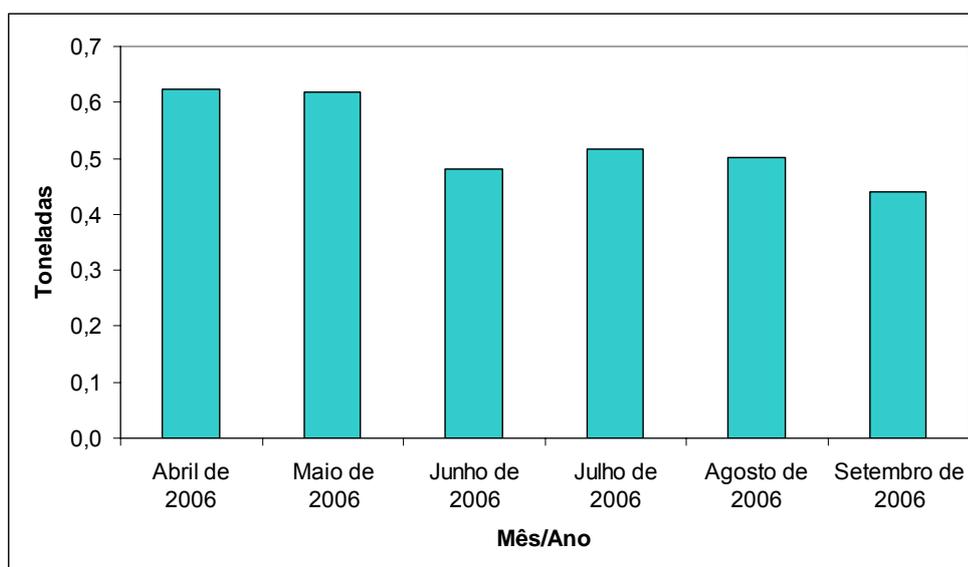
**FIGURA 11 – Média mensal diária de resíduos domiciliares e comerciais coletados**

A coleta dos *resíduos do serviço de saúde* (RSS) abrange todos os estabelecimentos de saúde do município, incluindo hospitais, postos de saúde, farmácias, drogarias, laboratórios, clínicas médicas e veterinárias.

A coleta é realizada pela mesma empresa que coleta os resíduos domiciliares e comerciais, porém é feita de forma diferenciada, ou seja, não são coletados em conjunto com os demais resíduos. Existe um veículo tipo furgão, de uso exclusivo para tal finalidade. Os serviços de coleta são realizados diariamente, no período das 7 às 16 horas. Os coletores fazem uso de uniforme completo, além de EPI's, tais como, botas, luvas, máscara e óculos de proteção.

Estima-se que sejam coletados cerca de 530 kg de RSS por dia, conforme a FIGURA 12. Esses resíduos são acondicionados de acordo com as recomendações da *Agência Nacional de Vigilância Sanitária* (ANVISA) e do *Conselho Nacional de*

*Meio Ambiente* (CONAMA), havendo uma segregação dos resíduos comuns e dos contaminados pelos próprios geradores. Após a coleta, parte dos resíduos é levada para ser incinerados em Contagem - MG e o restante é depositado em valas isoladas no depósito de resíduos do município.



**FIGURA 12 – Média mensal diária de RSS coletados**

Quanto aos *resíduos de construção civil* (RCC), o município tem um depósito provisório. Os resíduos encaminhados a esse depósito são utilizados no aterro controlado ou na manutenção das estradas rurais. Porém, existem no município muitos depósitos clandestinos, que causam um grande impacto ambiental e visual. De acordo com a PMI, estão sendo elaborados estudos para solucionar esse problema e para se implantar um plano de gerenciamento de RCC.

### **3.2.3.2 – Serviços de varrição, capina e poda**

Os serviços de varrição, capina e poda dentro da área urbana são executados por uma empresa terceirizada e administrados pela SEMOP, que é a responsável pela execução destes mesmos serviços na área rural.

O serviço é realizado diariamente das 7 às 17 horas, compreendendo a varrição de ruas, sarjetas e passeios. A capina e a poda são realizados em locais definido de acordo com a necessidade. Para a realização dos serviços são empregados 203

funcionários, que utilizam carrinhos de mão, carrinhos tipo “lutocar”, vassouras, pás e enxadas, além de EPI’s (uniforme, botas e luvas).

Os resíduos são acumulados em pontos estratégicos e recolhidos por caminhões graneleiros para posterior aterragem no depósito de resíduos do município.

### **3.2.4 – Disposição final dos resíduos sólidos urbanos**

O atual depósito de resíduos do município localiza-se a cerca de 7,0 km do centro da sede do município, em terreno de propriedade da Prefeitura, com uma área total de 10,0 hectares.

Durante muitos anos, o depósito de resíduos do município funcionou como lixão a céu aberto (FIGURA 13). Visando à regularização do local, a Prefeitura contratou uma empresa especializada para execução de obras necessárias para a transformação do depósito em aterro controlado (FIGURA 14), de forma a atender às exigências técnicas e legais descritas na Deliberação Normativa do Conselho de Política Ambiental (COPAM) nº. 052/2001 (MINAS GERAIS, 2001) e suas alterações posteriores indicadas nas DN’s 067/2003 (MINAS GERAIS, 2003) e 075/2004 (MINAS GERAIS, 2004).



**FIGURA 13 – Vista do depósito de resíduos de Itajubá (lixão) - Situação anterior**

São considerações constatadas sobre o atual depósito de resíduos do município:

- A área encontra-se cercada e controlada por um portão;
- Possui uma guarita para vigilância do local;
- Há um trator de esteiras trabalhando em tempo integral na área do depósito conformando maciços e aterrando os resíduos ali dispostos;
- Resíduos domiciliares e comerciais são recobertos e compactados de 03 em 03 dias por semana;
- Os catadores foram retirados do local;
- Está sendo implantada a drenagem do chorume;
- Está sendo providenciada a implantação de canaletas de drenagem superficial visando à minimização da entrada de águas pluviais para o interior da massa de resíduos aterrados.



(a)

(b)

**FIGURA 14 – (a) Vista geral do depósito de resíduos do município de Itajubá e (b) Entrada do depósito de resíduos.**

Todos os resíduos domiciliares e comerciais coletados no município de Itajubá, além dos RSS e dos resíduos provenientes da varrição, capina e poda são encaminhados ao depósito de resíduos para disposição final. Além desses resíduos, todos os resíduos coletados no município de Piranguinho, Piranguçu, São José do Alegre, Delfim Moreira e Wenceslau Braz também são encaminhados ao aterro.

Apesar das medidas adotadas pela administração municipal para minimização dos impactos ambientais na área do atual depósito, o município de Itajubá, por possuir uma população superior a cinquenta mil habitantes, conforme a

Deliberação do COPAM nº. 052/2001 (MINAS GERAIS, 2001), é convocado ao licenciamento ambiental do sistema adequado de disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Desse modo, o município contratou uma empresa que ficou responsável pela elaboração e licenciamento ambiental de um novo aterro sanitário. Recentemente, o município recebeu a licença prévia concomitantemente com a licença de instalação para o futuro aterro sanitário do COPAM, publicada no Diário Oficial do Estado de Minas Gerais em 20/09/2006.

### **3.2.5 – Caracterização do futuro aterro sanitário**

#### **3.2.5.1 – Caracterização geral da área**

O terreno escolhido para a implantação do futuro aterro sanitário do município encontra-se localizado na Fazenda da Barra, no local conhecido como Rancho Grande, localizado a aproximadamente 12,0 km da Praça Dr. Pereira dos Santos – popularmente conhecida como Praça do Soldado – , situado no centro da sede do município, no local de coordenadas UTM: N=448.200 m e E=7.524.600 m (FIGURA 15).



**FIGURA 15 – Localização do aterro sanitário e do depósito de resíduos atual**

Fonte: GOOGLE EARTH (2007)

A área tem uma cobertura vegetal típica de pastagens em praticamente todo o seu terreno, com exceção da existência de duas matas de eucalipto e de uma mata nativa na porção mais alta do terreno.

O levantamento planialtimétrico foi executado procurando delimitar as áreas de maior interesse para o projeto em questão, aproveitando-se, por exemplo, duas matas de eucaliptos para composição da proteção visual do empreendimento e as áreas com declividades inferiores a 20%, que são as mais indicadas para a implantação de empreendimentos do tipo aterros sanitários. Está incluída, também, dentro dos limites da área do empreendimento, toda a área de várzea existente, a fim de se preservar a área de nascentes e de várzea do córrego receptor do efluente tratado, uma vez que essa área se apresenta como área de influência direta do empreendimento. Estão também previstas quatro edificações localizadas entre a área de várzea e o local de instalação das unidades do aterro sanitário.

A área total do terreno é de 56,93 hectares. Dessa área total foi delimitada uma área de 29,95 hectares a ser efetivamente utilizada para a implantação do projeto. O terreno restante, com área de 26,97 hectares, foi definido com área de reserva técnica ou de expansão futura do aterro sanitário. Outra finalidade da área de reserva técnica será a de estocagem de material terroso excedente dos serviços de terraplenagem e a de empréstimo de material terroso, caso seja necessário, para a implantação de etapas posteriores ou para operação do empreendimento.

O terreno tem, no local de implantação das unidades de aterragem, uma declividade média de aproximadamente 15 %.

### **3.2.5.2 – Caracterização do aterro sanitário**

O aterro sanitário do município de Itajubá-MG (ANEXOS C e D) será constituído pelas seguintes unidades:

- Unidade de aterragem para disposição final dos resíduos sólidos de origem domiciliar e comercial, do lixo séptico gerado nos estabelecimento de saúde do município (exceto aqueles que devem ter tratamento e disposição final específicos, em conformidade com a Resolução CONAMA 358/2005) e das carcaças de animais mortos coletados pela Prefeitura;
- Edificação de apoio operacional (escritório, varanda, refeitório, vestiário e estacionamento para visitantes);

- Galpão para guarda e manutenção de veículos e equipamentos;
- Guarita e balança rodoviária para controle do acesso ao empreendimento;
- ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.

Para operar o aterro sanitário, serão necessários, no mínimo, dez funcionários efetivos e seis temporários. Essas unidades foram projetadas para comportar uma vida útil de aproximadamente 20 anos, considerando-se que 100% dos resíduos gerados na sede do município de Itajubá serão encaminhados ao aterro sanitário no decorrer da vida útil projetada. No caso de ampliação das campanhas de coleta seletiva de forma efetiva e abrangente, haverá, conseqüentemente, um aumento na vida útil projetada (MONTEIRO & COSTA, 2006).

## 4 – DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

### 4.1 – Caracterização física dos resíduos

A caracterização física dos RSD e RSC do município de Itajubá foi realizada conforme o método de MARTINS et.al. (s/d) adaptado pelo CETEC (CETEC, 2006). As amostragens foram realizadas no depósito de resíduos do município (FIGURA 16) localizado na estrada do Pessegueiro, no quilômetro 8 da marginal do Rio Sapucaí, no período de 20/09/2006 a 26/09/2006, correspondente à estação da primavera. Esta semana foi escolhida, buscando evitar possíveis distorções nos resultados, em função de realização de eventos, como festas, feriados ou comemorações públicas.



**FIGURA 16 – Vista geral do depósito de resíduos do município de Itajubá - MG**

Como ficaria onerosa a amostragem em todos os setores de coleta existentes, optou-se por agrupá-los, utilizando-se fatores como densidade populacional e poder aquisitivo, a partir de avaliações com técnicos da Prefeitura e da empresa prestadora de serviço de coleta do município. Como o universo de amostragem constitui-se em todo o resíduo gerado no município, o procedimento acaba por restringir-se ao espaço amostral original. Essa deficiência foi corrigida com a adoção de controle estatístico, para garantir a representatividade da amostra.

Na coleta de uma amostra por viagem, feita conforme critério estabelecido, computou-se, ao fim da semana, um peso total coletado de 13.250 kg para as 21 viagens. A razão entre a amostra coletada e o peso total coletado na semana-base pela empresa (310.092 kg) é de aproximadamente 4%. Como esse valor é superior a 1% garante a representativa das amostras (LESSA\*,2006).

Para se estabelecer regiões sócio-econômicas homogêneas, foram identificadas quatro classe sociais, adotando como referência o salário mínimo:

- Classe A – Renda acima de dez salários mínimos;
- Classe B – Renda entre cinco e dez salários mínimos;
- Classe C – Renda superior a dois e inferior a cinco salários mínimos;
- Classe D – Renda entre zero e dois salários mínimos.

De acordo, com o censo do IBGE (2000a), o município de Itajubá foi dividido em 63 setores censitários. Conforme os critérios sócio-econômicos estabelecidos, procurou-se identificar e enquadrar cada setor por meio do rendimento nominal mensal por domicílio particular permanente.

O número de amostras por classe foi definido em função da representatividade de cada classe no município, totalizando 21 amostras (TABELA 11). O volume adotado para cada amostra foi de aproximadamente 1,5 m<sup>3</sup>, pois a NBR 10007 (ABNT, 2004d) não especifica um valor de referência.

**TABELA 11 – Setores, percentual da população e número de amostras**

<b>Setores</b>	<b>Percentual da População*</b>	<b>Número de Amostras</b>
A	10,86%	2
B	30,83%	6
C	56,22%	10
Comercial	-	3

\* O percentual da população que possui classe inferior a C é de 1,97%, e o não considerado é de 0,11%.

As amostras foram coletadas por um caminhão tipo carroceria ou basculante (FIGURA 17), que circulou pelos roteiros usuais à frente do caminhão compactador da empresa executora dos serviços. A coleta foi realizada por três servidores; enquanto dois coletavam aleatoriamente os resíduos das residências, o terceiro anotava a quantidade de domicílios cujos resíduos eram coletados.

\* LESSA, E.R. (2006). Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. / Curso ministrado na Prefeitura Municipal de Itajubá, no período de agosto a setembro /



**FIGURA 17 – Caminhão utilizado na coleta das amostras**

Realizou-se um planejamento prévio dos setores onde iriam ser realizadas as amostragens, conforme visto na TABELA 12.

**TABELA 12 – Programação da semana (20 a 26 de setembro de 2006)**

<b>Dias da Semana</b>	<b>Turno</b>	<b>Rota</b>	<b>Início (Bairros)</b>	<b>Horário</b>	<b>Classe</b>
Quarta-feira	1°	Coletor 5	Rebourgeon	08:00 h	C
	1°	Coletor 6	Medicina	11:30 h	B
	2°	Coletor 5	Santa Luzia	13:30 h	C
Quinta-feira	1°	Coletor 3	Cruzeiro	07:00 h	C
	1°	Coletor 5	N.S. Fátima	12:00 h	C
	2°	Coletor 1	Boa Vista	13:00 h	B
Sexta-feira	1°	Coletor 4	Morro Chic	07:00 h	B
	1°	Coletor 1	Centro (Calçada)*	08:30 h	Comercial
	2°	Coletor 5	Santa Luzia	13:30 h	C
	2°	Coletor 4	Novo Horizonte	15:00	C
Sábado	1°	Coletor 5	Santa Rosa	07:00 h	C
	1°	Coletor 1	Centro (Calçada)*	08:30 h	Comercial
		Coletor 5	N. S.Fátima	12:00 h	B
Segunda-feira	1°	Coletor 3	Varginha	07:00 h	B
	2°	Coletor 1	BPS	13:00 h	A
	2°	Coletor 4/6	Capelinha/Anhumas	13:30/13:00h	C
	2°	Coletor 1	Centro	18:00 h	Comercial
Terça-feira	1°	Coletor 4	Jardim das Colinas	07:30 h	C
	1°	Coletor 3	Oriente	08:30 h	B
	1°	Coletor 1	Estiva	10:30 h	A
	2°	Coletor 1	Santo Antônio	14:30 h	C

A caracterização física qualitativa foi feita por uma equipe composta de 4 pessoas, que separaram manualmente os resíduos inorgânicos dos orgânicos.

Os resíduos sólidos domiciliares e comerciais úmidos foram divididos em: restos de alimentos e restos de podas; e os secos em: papel (papel reciclável, papelão, Tetra Pak), plástico (plástico alta/baixa densidade, PET), metal (aço, alumínio, metal não ferroso), vidro, trapo, restos de banheiro, entulho e outros.

Os materiais foram armazenados separadamente por tipo de material em latões de 100 litros, previamente pesados. Após a separação, os materiais foram pesados em uma balança manual Marca Arja® com carga máxima de 150 kg, sendo os resultados anotados em formulário próprio (ANEXO A). Posteriormente, fez-se o cálculo da porcentagem desses materiais.

Na FIGURA 18, são mostrados o ambiente e as etapas da caracterização física, desde o rompimento dos sacos até a pesagem.



**FIGURA 18 – Caracterização física dos resíduos sólidos domésticos e Comerciais: (a) Descarregamento dos resíduos coletados, (b) Quarteamento dos resíduos, (c) Triagem dos materiais, (d) Pesagem por tipo de resíduos**

A geração *per capita* foi determinada pela quantificação de resíduos gerada por habitante num período de tempo especificado, fazendo a média ponderada dos 3 setores, ou seja, considerando o percentual que a população de cada setor representa em relação à população total.

Como obtiveram-se os dados da população por nível de renda, cada classe foi caracterizada em função da média ponderada, viabilizando o dimensionamento das partes constituintes do sistema de limpeza urbana.

#### **4.2 – Estudo da potencialidade energética**

A quantidade de gás total, de metano, dióxido de carbono e compostos orgânicos não-metano (NMOC) a ser produzida no aterro sanitário do município de Itajubá foi estimada, utilizando o programa LandGEM - Versão 3.02 (EPA, 2005). O programa foi desenvolvido pelo CTC (*Control Technology Center*) da EPA e é mundialmente usado. Baseia-se em uma metodologia que utiliza uma equação de primeira ordem (eq. 20).

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] e^{-kt_{ij}} \quad (20)$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  = geração anual de metano para o ano calculado ( $m^3$ /ano);

$i = 1$  - acréscimo por ano;

$n$  = ano do cálculo (ano inicial de abertura do aterro);

$j = 0,1$  - acréscimo por ano;

$k$  = taxa de geração de metano ( $ano^{-1}$ );

$L_0$  = potencial de geração de metano ( $m^3$ /Mg);

$M_i$  = massa de resíduos recebidos no ano em cada seção (Mg);

$t_{ij}$  = ano, em cada seção, de recebimento da massa de resíduos (tempo em anos com precisão de decimais, por exemplo, 3,2 anos).

Para realizar essa estimativa, foi necessária a entrada de alguns dados como características do aterro, determinação de parâmetros, seleção de quatro gases e quantidade de resíduos que o aterro receberá por ano.

Como não há dados específicos do local, foi necessário adotar valores para os parâmetros de taxa de geração de metano ( $k$ ) e o potencial de geração de metano ( $L_0$ ), de acordo com a área estudada. O potencial de geração de metano depende do volume de matéria orgânica e pode variar muito, de 6,2 a 270  $m^3$  de

CH<sub>4</sub>/t de resíduos (EPA, 1991). Já o valor da taxa de geração (k) depende da mistura, do pH, da temperatura e de outros fatores ambientais, bem como condições de operação do aterro.

A EPA recomenda valores de L<sub>0</sub> entre 140 e 180 m<sup>3</sup>/t e para k de 0,04 a 0,15 (1/ano). Em estudo realizado pelo CEPEA (2004), os valores de k foram adaptados de acordo com as regiões, índice pluviométrico e clima. Para a região Sul, sugere-se k = 0,08 (1/ano); para Sudeste, k = 0,09 (1/ano); e para Norte e Nordeste, k = 0,1 (1/ano).

Pelo fato desses parâmetros serem de grande importância, refletindo a realidade de geração de metano no aterro ao longo dos anos, optou-se, nesse estudo, por considerar quatro situações distintas para estimar a geração de biogás no futuro aterro sanitário de Itajubá.

Foram estudadas duas hipóteses:

- Hipótese 1: A geração de resíduos per capita seria de 0,75 (kg/hab.dia) durante toda vida útil do aterro;
- Hipótese 2: A implantação de um programa de educação ambiental, com a aplicação da política dos 3 R's, reduziria a produção em 3% ao ano, presumindo que todo o material potencialmente reciclável não seria destinado ao aterro. Considerou-se, para esta hipótese, que 36% do total de resíduos fossem reciclados (31,5% de recicláveis mais 4% de reciclagem de entulho).

Para cada hipótese, consideraram-se dois cenários:

- 1) Primeiro Cenário (CEN 1): k = 0,04 (1/ano) e L<sub>0</sub> = 140 m<sup>3</sup>/t;
- 2) Segundo Cenário (CEN 2): k = 0,09 e L<sub>0</sub> = 180 m<sup>3</sup>/t.

Em todas as situações, foi considerado que o biogás é composto por 50% de metano e que a concentração dos compostos orgânicos não-metano (NMOC) é de 4,000 ppmv (partes por milhão por volume).

O programa utilizado tem uma interface com Microsoft Excel e a primeira tela de inserção de dados pode ser vista na FIGURA 19.

Os dados da quantidade de resíduos gerados anualmente, durante a vida útil do aterro, são inseridos e os parâmetros de taxa de geração de metano (k) e o potencial de metano (L<sub>0</sub>) são adotados de acordo com as condições da região estudada.

Microsoft Excel - LandGEM - ITAJUBÁ k=0,08

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

18

P18

A B C D E F G H I J K L

1 USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Aterro Sanitário de Itajubá

2

3

4 1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

5 Landfill Open Year 2008

6 Landfill Closure Year 2027

7 Have Model Calculate Closure Year?  Yes  No

8 Waste Design Capacity megagrams

9

10

11 2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

12 Methane Generation Rate,  $k$  ( $\text{year}^{-1}$ ) User-specified & value should be based on site-specific data and determined by EPA Method 2E. User-specified value: 0,080

13

14 Potential Methane Generation Capacity,  $L_0$  ( $\text{m}^3/\text{Mg}$ ) User-specified & value should be based on site-specific data and determined by waste type and composition. User-specified value: 140

15

16 NMOC Concentration ( $\text{ppmv as hexane}$ )

17 C.A.A. - 4,000

18 Methane Content (% by volume) User-specified value: 50

19

20

21

22 3: SELECT GASES/POLLUTANTS

23 Gas / Pollutant #1 Default pollutant parameters are currently being used by model.

24 Total landfill gas

25 Gas / Pollutant #2

26 Methane

27 Gas / Pollutant #3

28 Carbon dioxide

29 Gas / Pollutant #4

30 NMOC

31

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units  $\text{Mg/year}$

Year	Input Units ( $\text{Mg/year}$ )	Calculated Units ( $\text{Mg/year}$ )
2008	21.900,98	24.091
2009	22.143,59	24.358
2010	22.379,85	24.618
2011	22.673,38	24.941
2012	22.913,58	25.205
2013	23.149,07	25.464
2014	23.380,11	25.718
2015	23.606,75	25.967
2016	23.829,20	26.212
2017	24.047,70	26.452
2018	24.262,49	26.689
2019	24.473,69	26.921
2020	24.681,55	27.150
2021	24.886,28	27.375
2022	25.087,97	27.597
2023	25.286,61	27.815
2024	25.482,00	28.030
2025	25.673,92	28.241
2026	25.862,07	28.448
2027	26.046,06	28.651
2028		
2029		
2030		
2031		

Clear ALL Non-Parameter Inputs/Selections

Restore Default Model Parameters

Edit Existing or Add New Pollutant Parameters

Restore Default Pollutant Parameters

INTRO USER INPUTS POLLUTANTS INPUT REVIEW METHANE RESULTS GRAPHS INVENTORY REPORT

FIGURA 19 – Tela de inserção de dados do programa LandGEM

Fonte: EPA (2005)

O programa gera uma tabela de dados anuais relativos à estimativa de geração de metano e dos demais gases selecionados ao longo dos anos e um gráfico.

O cálculo não considera as dificuldades de captação do biogás, gerando informações teóricas. Segundo CEPEA (2004), a estimativa da produção de metano pelo LandGEM pode ser corrigida pela eq. (27).

$$GDL_{teórico} = n. m. GDL \quad (27)$$

Onde:

- n – coeficiente de eficiência de captação do biogás (varia de 0 a 80%);
- m – coeficiente de operação (0 a 100%).

A eficiência de captação depende das condições de operação do aterro, do clima da região, da qualidade do sistema implantado, do número e da densidade de drenos instalados, entre outros. A máxima eficiência é 80 % do valor teórico, pois uma fração do biogás escapa pela superfície da cobertura do aterro onde não ocorre influência de drenagem dos drenos verticais e horizontais. Estes coeficientes são adotados de acordo com as condições locais, estabelecidos em campo.

No caso em estudo, foi considerado um coeficiente de eficiência de captação e operação de 80%. A quantidade de energia gerada a partir do biogás é calculada para uma eficiência de 30% do motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico.

Para determinar a geração de biogás no decorrer da vida útil do aterro, foi necessário realizar uma estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares e comerciais em função do comportamento populacional, considerando uma vida útil mínima de 20 anos. A seguir são apresentadas as etapas realizadas para estas estimativas:

#### **4.2.1 - Estimativa da população**

O método adotado para estimar a população do município de Itajubá emprega a metodologia desenvolvida por MADEIRA & SIMÕES (1972), também, utilizada pelo IBGE. Esse método observa a tendência de crescimento populacional do município, entre dois Censos Demográficos consecutivos, em relação à mesma tendência de uma área geográfica hierarquicamente superior (área maior).

A metodologia requer a existência de uma projeção populacional que leve em consideração a evolução das componentes demográficas (fecundidade, mortalidade e migração) para uma área maior que o município, isto é, para unidade da federação, grande região ou país, estando ligada à dinâmica demográfica da área maior. Em síntese, esse método preconiza que, se a tendência de crescimento populacional do município entre os Censos for positiva, a estimativa populacional será maior que a verificada no último levantamento censitário, caso contrário, a estimativa apontará valor inferior ao último censo.

Essa metodologia adota como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em  $n$  áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, pré-conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores (MADEIRA & SIMÕES, 1972).

Considere-se, então, uma área maior cuja população estimada em um momento  $t$  é  $P(t)$ . Subdivide-se esta área maior em  $n$  áreas menores, cuja população de uma determinada área  $i$ , na época  $t$ , é (eq. 28):

$$P_i(t); i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (28)$$

Desta forma, tem-se a eq. (29):

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (29)$$

Decomponha-se, por hipótese, a população desta área  $i$ , em dois termos  $a_i P(t)$ , que depende do crescimento da população da área maior, e  $b_i$ . O coeficiente  $a_i$  é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor  $i$  em relação ao incremento da população da área maior, e  $b_i$  é o denominado coeficiente linear de correção.

Como consequência, tem-se que (eq. 30):

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (30)$$

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos. Sejam  $t_0$  e  $t_1$ , respectivamente, as datas dos dois Censos. Ao substituir-se  $t_0$  e  $t_1$  na equação acima, obtêm-se as eq. (31) e (32):

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (31)$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (32)$$

Através da resolução do sistema acima, tem-se que (eq. 33 e 34):

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (33)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0) \quad (34)$$

#### **4.2.2 - Estimativa da geração RSD e RSC**

Para estimar a quantidade de resíduos domiciliares e comerciais que vão para o aterro sanitário, considerou-se a vida útil de 20 anos, a contar de 2009. A partir daí, calculou-se a quantidade de resíduos gerados, conforme eq. (35).

$$P_{d(A)} = \left( \frac{Pop \times p \times R}{1000} \right) \quad (35)$$

Onde:

$P_{d(a)}$  = produção diária média de lixo (kg/dia).

Pop = População no ano considerado;

p = produção per capita (0,750 kg/hab.dia – dado coletado para o município de Itajubá);

R = percentual de resíduos aterrados (%) (neste caso, admitiu-se que 100% dos resíduos serão dispostos no aterro sanitário).

#### **4.3 – Análise dos custos e receitas**

Para analisar os custos e receitas para situação otimista e pessimista do cenário energético, considerado neste estudo, utilizou-se o método do valor presente. Este método caracteriza-se pela transferência, para o instante presente, de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa mínima de

atratividade, ou seja, seria o transporte para a data zero de um diagrama de fluxos de caixa (representação gráfica do conjunto de entradas (receitas) e saídas (despesas) relativo a um certo intervalo de tempo), de todos os recebimentos e desembolsos esperados, descontados à taxa de juros considerada (12% ao ano).

Neste método se o valor presente for positivo, a proposta de investimento é atrativa, e quanto maior o valor positivo, mais atrativa é a proposta.

## 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

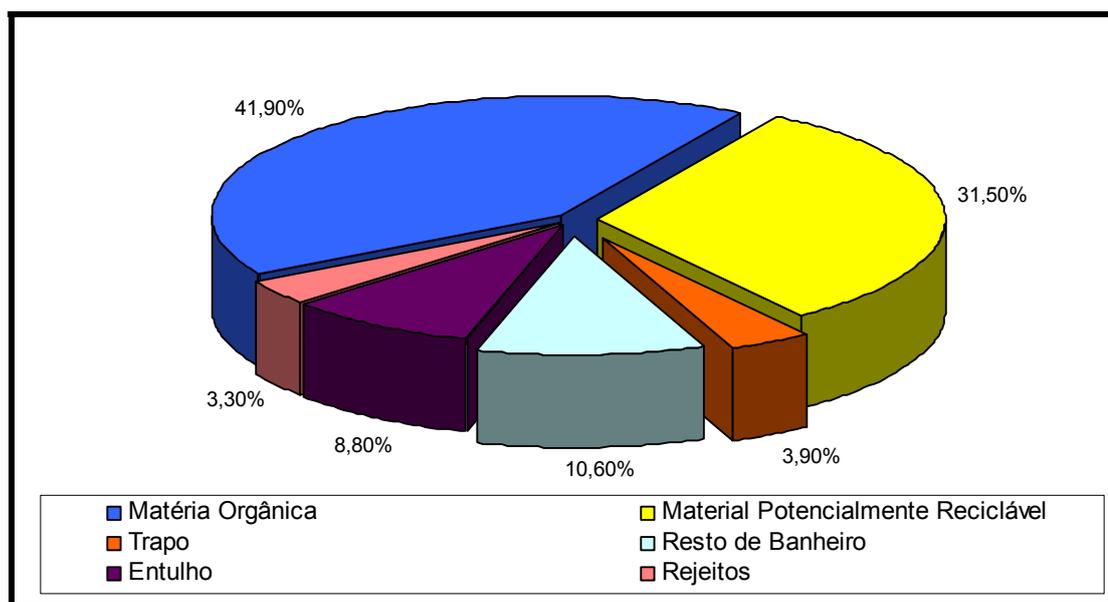
### 5.1 – Caracterização física dos resíduos

Foram selecionados três setores sócio-econômicos (A, B, C) e um setor comercial para a classificação. A partir dos resultados obtidos, agrupados na TABELA 13, foi possível classificar os resíduos dos diferentes setores, em grupos que refletem seus graus de tratabilidade, biodegradabilidade e de combustão.

**TABELA 13 – Composição física dos RSD de Itajubá/MG**

<b>Componentes</b>		<b>Setor A (%)</b>	<b>Setor B (%)</b>	<b>Setor C (%)</b>	<b>Itajubá (%)</b>	<b>Setor Comercial</b>
Restos de alimentos	Material Orgânico (compostável)	28,1	42,9	33,1	36,4	39,7
Restos de podas		11,7	6,8	3,9	5,5	4,4
Papel Reciclável	Material Potencialmente Reciclável	12,0	5,4	6,3	7,0	10,6
Papelão		7,0	3,2	5,3	5,4	10,0
Plástico Mole		5,2	6,8	9,3	8,0	8,3
Plástico Duro		2,8	2,9	3,3	3,1	3,2
PET		1,8	1,3	1,8	1,8	2,9
Tetra Pak		2,2	1,2	0,5	1,1	0,7
Metal (Aço)		2,3	2,0	2,0	2,1	2,2
Metal (Alumínio)		0,1	0,5	0,3	0,4	0,6
Metal não Ferroso		0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Vidro		2,6	3,0	2,2	2,5	2,5
Trapo	Trapo	2,3	2,5	5,9	3,9	0,8
Restos de Banheiro	Restos de Banheiro	7,5	9,0	12,5	10,6	9,5
Entulho	Entulho	12,9	9,9	9,1	8,8	2,4
Outros	Rejeitos	1,5	2,5	4,4	3,3	2,2

Como mostrado na FIGURA 20, observa-se que 41,9% dos RSD da cidade Itajubá constitui-se em material orgânico, composto principalmente de restos de alimentos, cascas de frutas e de legumes e folhas de vegetais.



**FIGURA 20 – Composição física dos resíduos sólidos domiciliares do município de Itajubá/MG**

A porcentagem de papel reciclável/papelão/tetra pak (13,5%) é pequena em relação à média brasileira (24,5%). Isso é justificado pelo fato de este material sofrer uma separação prévia antes de ser disposto para coleta, pois neste estudo, tomou-se o cuidado de se coletar os resíduos para amostragem na origem, tentando evitar a interferência dos catadores de rua, e assim obter uma composição gravimétrica dos resíduos representativa da gerada pela população da cidade.

Pode se observar uma quantidade significativa de plástico, totalizando 12,9%, principalmente do tipo mole/filme, que constitui as sacolas de supermercado utilizadas para o acondicionamento dos resíduos.

Vidros foram encontrados em pequena quantidade (2,5%), certamente pelo fato de as embalagens de vidro estarem sendo substituídas por plásticos.

No componente trapo (3,9%), observou-se uma predominância de roupas usadas no setor de poder aquisitivo menor. Agrupou-se neste os materiais da família dos tecidos, panos e fios.

A classe dos metais subdividiu-se em aço, alumínio e metal não-ferroso. Os metais de aço e alumínio foram encontrados em quantidades pequenas 2,1% e 0,4%, respectivamente. Assim como os metais não-ferrosos, tais como latas de bebidas, coletados também em quantidade insignificante (0,1%). Isto se deve ao fato de que as latinhas de alumínio possuem um alto valor agregado, quando reciclado para cadeia produtiva, o que demonstra que esses são separados antes de chegarem a ser dispostos para coleta.

Os outros materiais encontrados foram classificados em restos de banheiro, entulho e rejeitos como isopor, madeira e outros materiais classificados como não identificados.

### 5.1.1 – Classificação dos resíduos sólidos domésticos

Os RSD podem ser classificados de diversas formas, dependendo do objetivo desejado: uma delas é em função da biodegradabilidade, outra é em função de seu grau de combustão e uma terceira maneira, segundo D'ALMEIDA & VILHENA (2000), é em putrescível, reciclável e combustível.

Essa classificação dos diversos constituintes gerados em uma cidade pode orientar na elaboração de um gerenciamento integrado dos RSD e dos RSC, de acordo com a realidade e o potencial do município.

Nas TABELAS 14, 15 e 16, é mostrada a classificação dos RSD da cidade de Itajubá em função da biodegradabilidade, do grau de combustão, e segundo classificação sugerida por D'ALMEIDA & VILHENA (2000), respectivamente.

**TABELA 14 – Classificação dos RSD de Itajubá em função da biodegradabilidade**

Setor	A (%)	B (%)	C (%)
<b>Facilmente degradáveis (FD)</b>	39,8	49,7	37,0
<b>Moderadamente degradáveis (MD)</b>	31,0	20,8	26,6
<b>Difícilmente degradáveis (DD)</b>	13,6	16,0	24,7
<b>Não degradáveis (ND)</b>	15,6	13,5	11,7

**TABELA 15 – Classificação dos RSD de Itajubá em função do grau de combustão**

Setor	A (%)	B (%)	C (%)
<b>Combustível*</b>	79,8	82,2	80,4
<b>Incombustível</b>	20,2	17,8	19,6

\* Considera o material orgânico

**TABELA 16 – Classificação dos RSD de Itajubá segundo D'ALMEIDA & VILHENA (2000)**

Setor	A (%)	B (%)	C (%)
Putrescível	61,0	59,5	49,1
Reciclável	91,0	88,5	83,1
Combustível*	40,0	32,5	43,4

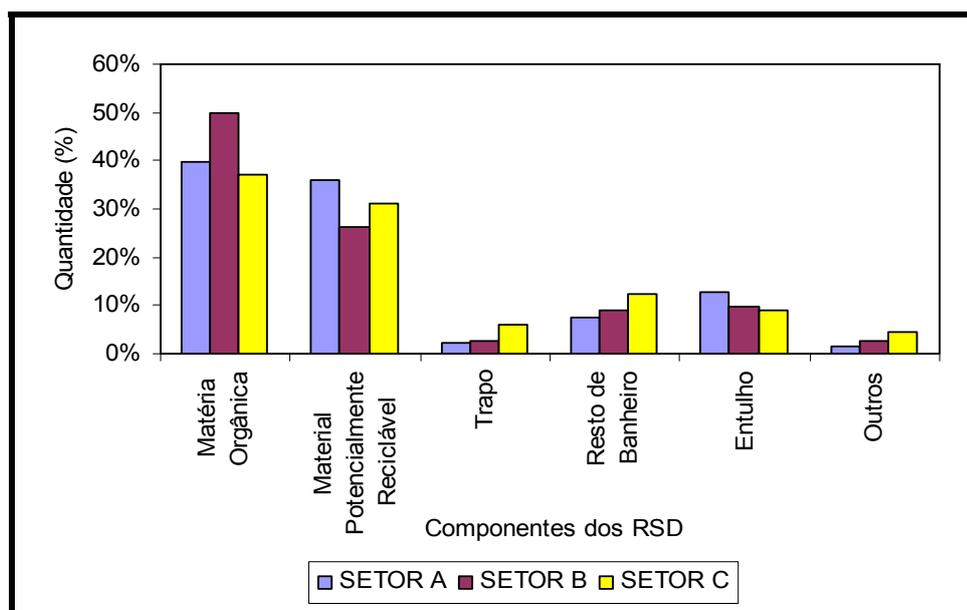
\* Não considera o material orgânico

A partir dessa classificação, é possível identificar as características mais marcantes dos RSD gerados no município. Essas são importantes na definição do tipo de coleta, transporte e destinação final que deverão ser aplicados ao município.

Pode-se observar, a partir da análise dos resultados, que os RSD gerados nos três setores do município de Itajubá são primordialmente combustíveis, facilmente degradáveis e recicláveis. Verificou-se também uma porcentagem maior de materiais recicláveis, gerados pelas pessoas de poder aquisitivo maior.

### 5.1.2 – Análise e comparação da composição física média dos setores

A caracterização física dos três setores em função da média ponderada das amostras coletadas pode ser observada na FIGURA 21.



**FIGURA 21 – Composição física dos resíduos sólidos domiciliares dos setores do município de Itajubá - MG**

Analisando a FIGURA 21, pode-se verificar que o setor que apresenta maior porcentagem de material orgânico é o setor B, que corresponde à classe média do município de Itajubá. Embora a diferença do percentual de material orgânico entre os três setores não seja tão grande, de acordo a literatura especializada no assunto, o setor que apresentaria maior quantidade de material orgânico seria o setor C, que corresponde à classe carente do município. É possível que as pessoas que residem no bairro que compõem o setor B tenham uma maior consciência ambiental e realizem em suas casas a coleta seletiva, mandando para o depósito de resíduo somente aquilo que não pode ser reutilizado ou reciclado.

Na realização da amostragem nos três setores, observou-se a existência de materiais cuja origem era de difícil distinção, devido ao fato de a coleta no município ser realizada por caminhões compactadores e, portanto, facilitando as misturas dos resíduos, pois materiais inertes agregam-se à matéria orgânica.

Em relação à quantidade de material potencialmente reciclável, pode-se observar que o setor A apresenta um maior quantidade (36,0%) que os demais setores, sendo a maior parte constituída por papel/papelão.

A quantidade de plásticos é equivalente nos três setores, pois a população atualmente está consumindo mais plásticos, como sacolas, embalagens, etc.

A porcentagem de vidros, também é equivalente nos três setores, sendo este valor acima da média brasileira (FIGURA 2).

A quantidade encontrada de metais (aço, alumínio e não ferrosos) nos três setores é baixa, certamente pelo fato de estes materiais sofrerem uma triagem antes de serem dispostos para coleta, sendo reaproveitados ou reciclados, principalmente a latinha de alumínio.

Trapo é maior no setor de classe baixa (C). Esse fato pode ser justificado pelo hábito que as pessoas de maior poder aquisitivo têm de doar suas roupas usadas para pessoas carentes. Assim, quando as roupas usadas não têm mais serventia, essas pessoas costumam descartá-las, geralmente, na lixeira.

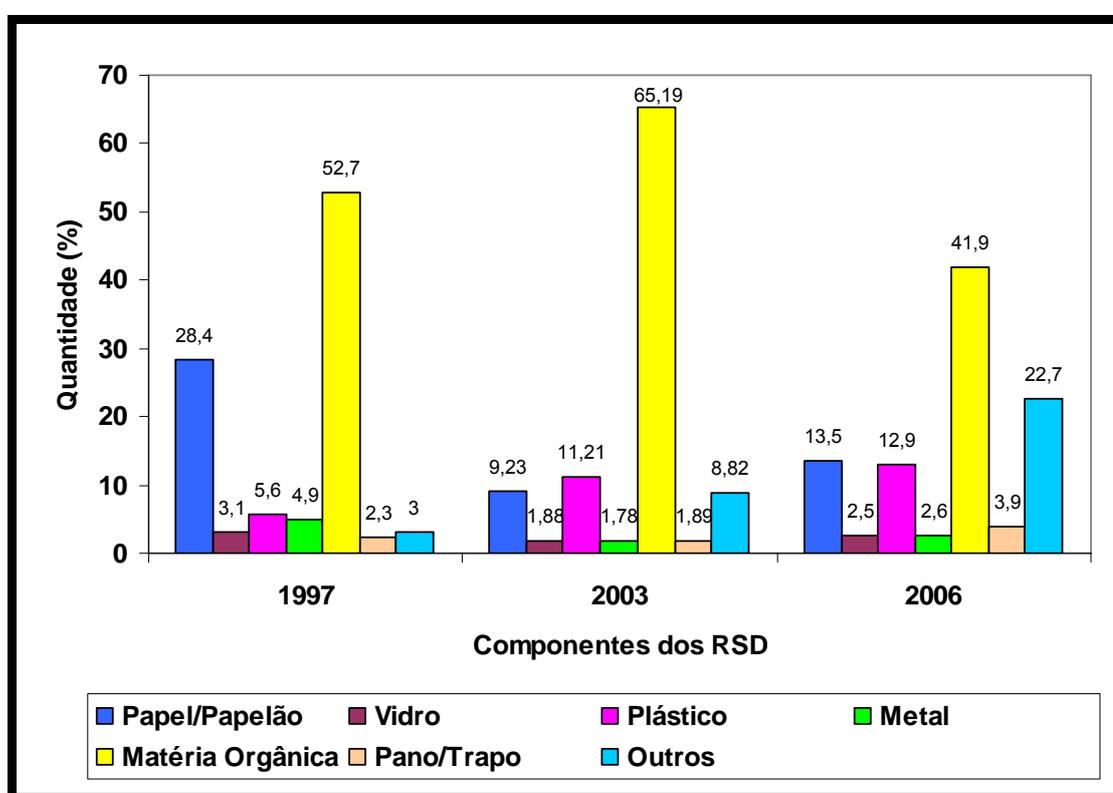
O setor A apresentou uma maior quantidade de entulhos, constituídos principalmente por sobras de construção civil, certamente, pelo fato de as pessoas residentes nesse setor terem um poder aquisitivo maior e realizarem com mais freqüência reformas ou novas construções de imóveis.

No setor C, encontrou-se uma maior quantidade de restos de banheiro e de rejeitos, compostos principalmente por fraldas descartáveis, isopor e materiais não identificados.

A quantidade de fraldas descartáveis encontrada em todos os setores pesquisados chamou a atenção da autora, revelando um grande número de crianças e a opção por estilo de vida mais prático.

### 5.1.3 – Comparação com outras caracterizações físicas

A caracterização feita neste trabalho foi comparada com a realizada por CPTI (1997) e por SILVA & COSTA (2003), como mostrado na FIGURA 22.



**FIGURA 22 – Composição física dos RSD de Itajubá em 1997\*, 2003\*\* e 2006**

Fonte: \*CPTI (1997), \*\*SILVA & COSTA (2003)

Em 1997, Itajubá possuía uma população de cerca de 80.000 habitantes e gerava 48 toneladas de RSD por dia. Em 2000, quando foi realizado o censo pelo IBGE, a cidade comportava 84.135 habitantes, e produzia aproximadamente 61 toneladas de RSD por dia. Em ambas as datas, o serviço de coleta já abrangia 100% da população urbana.

Pode-se observar, que a população na cidade aumentou 5,17% nos últimos três anos e a produção diária de RSD aumentou 27,08%.

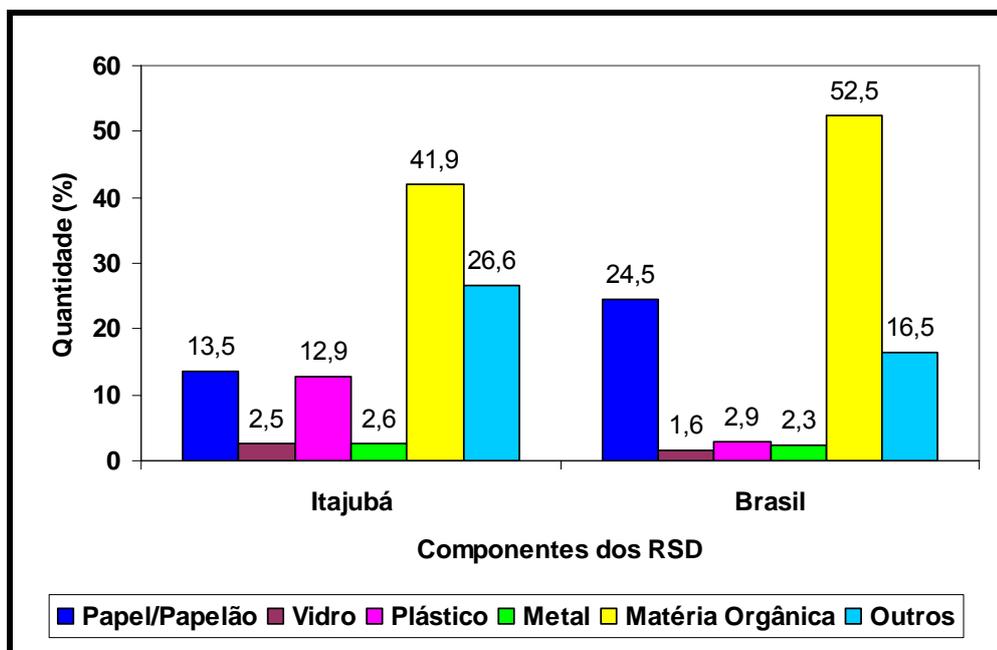
Analisando a FIGURA 22, pode-se verificar que houve uma diminuição significativa da quantidade de papel/papelão e de metal de 1997 para 2006, devido ao fato de estes materiais serem separados para a reciclagem, não sendo destinados ao depósito de resíduos, e também pela crescente substituição da embalagem de papel/papelão pela de plástico.

Verificou-se também uma menor quantidade de vidro e um aumento da porcentagem de plástico em 2003 e 2006, o que pode ser justificado pelo fato de as embalagens de vidro estarem sendo substituídas pelas de plástico, como dito anteriormente.

Pano e trapo não variam muito entre esses anos. No ano 1997 e 2006, a quantidade foi um pouco maior do que no ano de 2003.

A quantidade percentual de matéria orgânica foi maior em 2003, devido à diminuição dos resíduos potencialmente recicláveis. Em 2006 foi menor, não porque tenha aumentado a quantidade de material reciclado, mas pelo fato de que as amostras foram coletadas na origem, enquanto em 2003 foram coletadas no depósito de resíduos do município.

Na FIGURA 23, verifica-se que a porcentagem de papel/papelão encontrada em Itajubá é menor do que a média do Brasil. Isto pode ser explicado pelo motivo já exposto de que, em Itajubá, materiais são separados antes de serem dispostos para coleta, o que influencia na porcentagem de matéria orgânica.



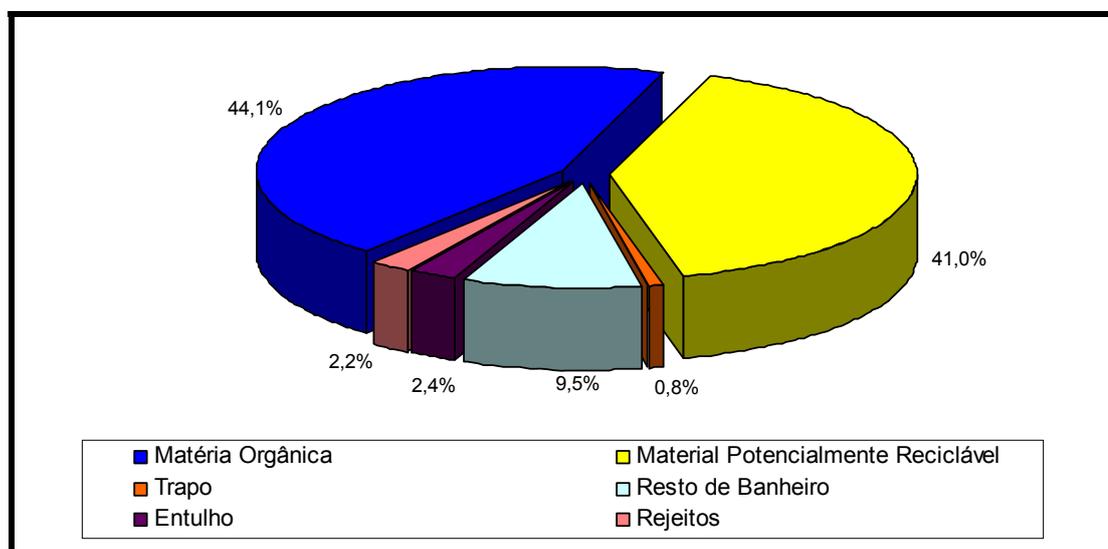
**FIGURA 23 – Comparação da composição física média dos RSD de Itajubá (2003) e do Brasil (1999)**

Itajubá apresentou uma porcentagem de material orgânico inferior à média do Brasil, talvez pelo fato de ter apresentado um maior porcentagem de material potencialmente reciclável e maior quantidade de outros resíduos, constituídos de restos de banheiro, fraldas descartáveis, entulhos, panos, trapos, isopor, pilhas entre outros. A quantidade encontrada de vidro e de metal em Itajubá é superior à média brasileira.

Em relação à porcentagem de plástico, pode-se observar que a quantidade encontrada em Itajubá é maior do que a média brasileira, devido as pessoas estarem consumindo mais plásticos nos últimos anos, principalmente sacolas de supermercado, que são reutilizadas para o acondicionamento dos resíduos.

#### 5.1.4 – Composição física do setor comercial

A caracterização física no setor comercial em função da média ponderada das três amostras coletadas do setor pode ser observada na FIGURA 24.



**FIGURA 24 – Composição física dos resíduos sólidos comerciais do município de Itajubá – MG**

Nesse setor, a porcentagem de material orgânico encontrada foi de 44%, sendo uma quantidade significativa para uma área comercial, porém existem nesta área muitas lanchonetes e restaurantes.

A porcentagem de material potencialmente reciclável identificada foi de 41%, predominando a quantidade de papel reciclável e papelão (10,6% e 10,0% respectivamente).

Observa-se também nesse setor, uma quantidade significativa de plásticos (plástico mole, duro e PET – 14,4%) principalmente do tipo mole/filme. Vidros foram encontrados em pequena quantidade (2,5%), certamente pelos mesmos motivos expostos acima. Trapo foi identificado em quantidade insignificante 0,80%, pois trata-se de uma área predominantemente comercial. Os metais, tanto de aço, alumínio e não ferroso foram encontrados em quantidades pequenas. Isso se justifica pelo alto valor agregado a estes materiais quando reciclados para cadeia produtiva, sendo, portanto separados antes de serem coletados e destinados para o depósito de resíduos do município. Os outros materiais encontrados foram classificados em restos de banheiro, entulho e rejeitos.

## **5.2 – Estimativa da geração de energia a partir dos resíduos sólidos domésticos e comerciais de Itajubá/MG**

### **5.2.1 – Análise de sensibilidade da equação de geração de metano**

Os parâmetros de entrada mais importantes para o modelo LandGEM são o  $L_0$  e  $k$ , pois refletem a realidade da geração de metano no aterro ao longo dos anos, a partir do qual se estima o potencial de geração de energia. Na FIGURA 25 é mostrada a variação da produção de metano em função do  $L_0$  e  $k$ .

Para analisar a sensibilidade destes dois parâmetros, primeiro manteve-se constante o valor de  $k$  variando o  $L_0$ , e depois manteve-se constante o valor de  $L_0$  variando  $k$  (TABELAS 21 e 22 – ANEXOS E e G). A partir, destes resultados, foram obtidas as seguintes equações de sensibilidade para  $L_0$  e  $k$  (eq. 36 e 37).

Para  $L_0$ :

$$\frac{\left(\frac{\partial M}{M}\right)}{\left(\frac{\partial L_0}{L_0}\right)} = 1 \quad (36)$$

Para  $k$ :

$$\frac{\left(\frac{\partial M}{M}\right)}{\left(\frac{\partial k}{k}\right)} = 5.10^{11}an^6 + 3.10^8an^5 - 7.10^6an^4 + 8.10^4an^3 - 4,3.10^2an^2 + 1,3.10^1an + 2284$$

A eq. (36) mostra que, se aumentarmos, por exemplo, em 20% o valor de  $L_0$ , a produção de metano aumentará, também, 20%, ou seja, este parâmetro varia linearmente de forma constante. Já o parâmetro  $k$  varia em função do ano conforme a eq. (29), obtida a partir da FIGURA 26 (TABELAS 21 e 22 – ANEXOS E e F).

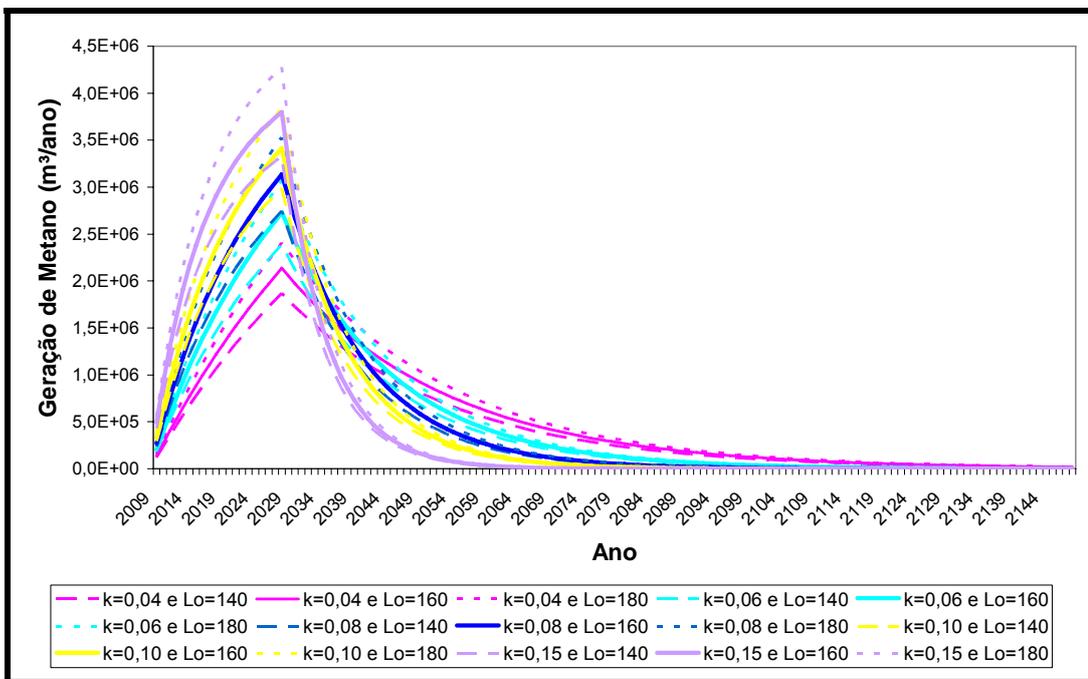


FIGURA 25 – Variação da geração de metano em função de  $L_0$  e  $k$ .

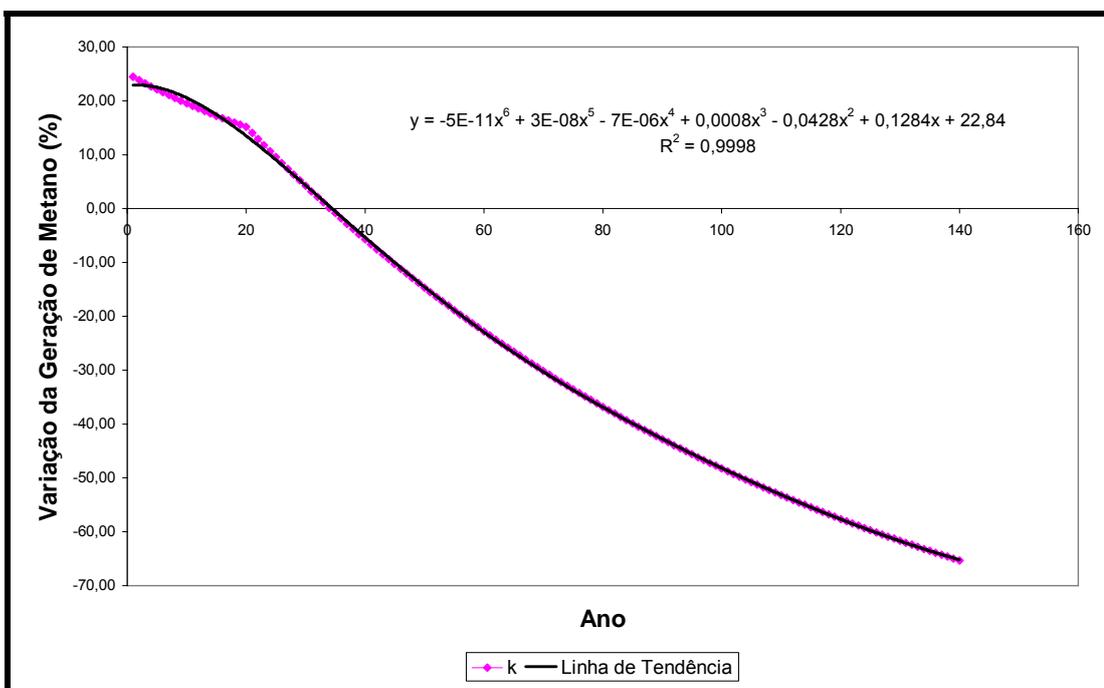


FIGURA 26 – Sensibilidade da geração de metano em função do parâmetro  $k$

## 5.2.2 – Estimativa da geração de energia

Os dados de entrada para Hipóteses 1 e 2 são apresentados na TABELA 17 e 18 respectivamente.

**TABELA 17 – Estimativa da população e da geração de resíduos para a Hipótese 1**

<b>Ano</b>	<b>População Estimada</b>	<b>Per capita (kg/hab.dia)</b>	<b>Total (kg/dia)</b>	<b>Total (ton/dia)</b>	<b>Total (ton/ano)</b>
2008	93.061	0,75	69.796	69,80	21.916
2009	94.063	0,75	70.547	70,55	22.152
2010	95.050	0,75	71.288	71,29	22.384
2011	96.020	0,75	72.015	72,01	22.613
2012	96.970	0,75	72.727	72,73	22.836
2013	97.901	0,75	73.426	73,43	23.056
2014	98.815	0,75	74.111	74,11	23.271
2015	99.711	0,75	74.784	74,78	23.482
2016	100.591	0,75	75.443	75,44	23.689
2017	101.455	0,75	76.092	76,09	23.893
2018	102.305	0,75	76.729	76,73	24.093
2019	103.140	0,75	77.355	77,36	24.290
2020	103.962	0,75	77.972	77,97	24.483
2021	104.772	0,75	78.579	78,58	24.674
2022	105.570	0,75	79.177	79,18	24.862
2023	106.355	0,75	79.766	79,77	25.047
2024	107.128	0,75	80.346	80,35	25.229
2025	107.887	0,75	80.915	80,92	25.407
2026	108.631	0,75	81.473	81,47	25.583
2027	109.359	0,75	82.019	82,02	25.754

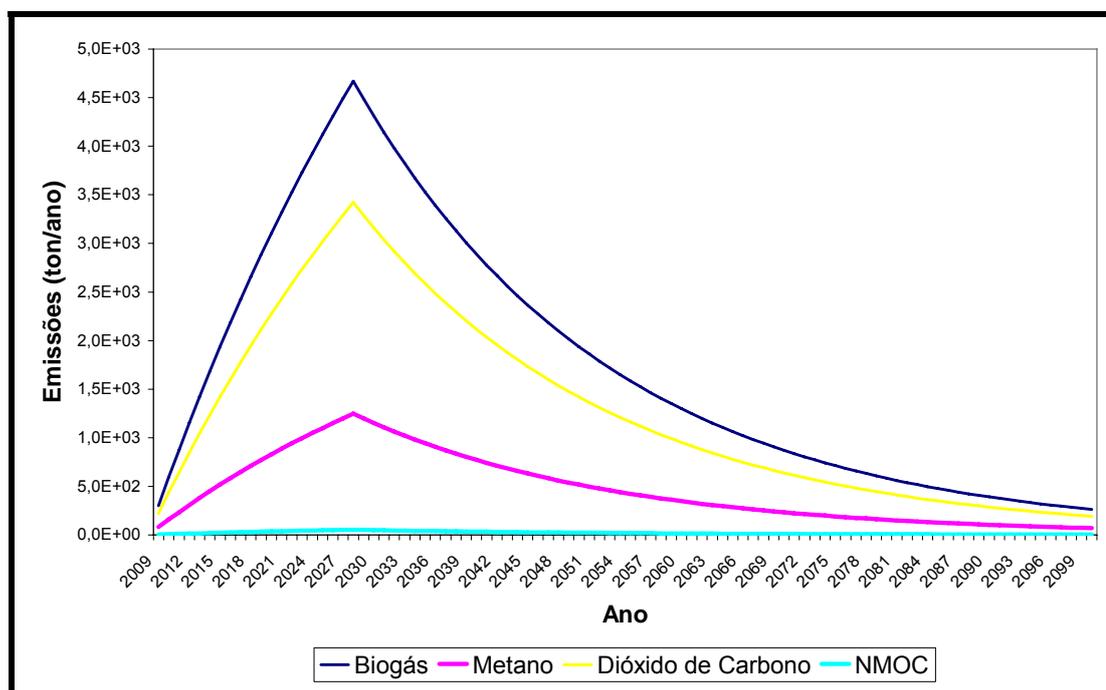
**TABELA 18 – Estimativa da população e da geração de resíduos para a Hipótese 2**

<b>Ano</b>	<b>População Estimada</b>	<b>Per capita (kg/hab.dia)</b>	<b>Total (kg/dia)</b>	<b>Total (ton/dia)</b>	<b>Total (ton/ano)</b>
2008	93.061	0,750	44.669	44,67	14.026
2009	94.063	0,728	43.796	43,80	13.752
2010	95.050	0,706	42.928	42,93	13.479
2011	96.020	0,685	42.065	42,06	13.208
2012	96.970	0,664	41.206	41,21	12.939
2013	97.901	0,644	40.354	40,35	12.671
2014	98.815	0,625	39.509	39,51	12.406
2015	99.711	0,606	38.671	38,67	12.143
2016	100.591	0,588	37.842	37,84	11.882
2017	101.455	0,570	37.022	37,02	11.625
2018	102.305	0,553	36.212	36,21	11.371
2019	103.140	0,536	35.413	35,41	11.120

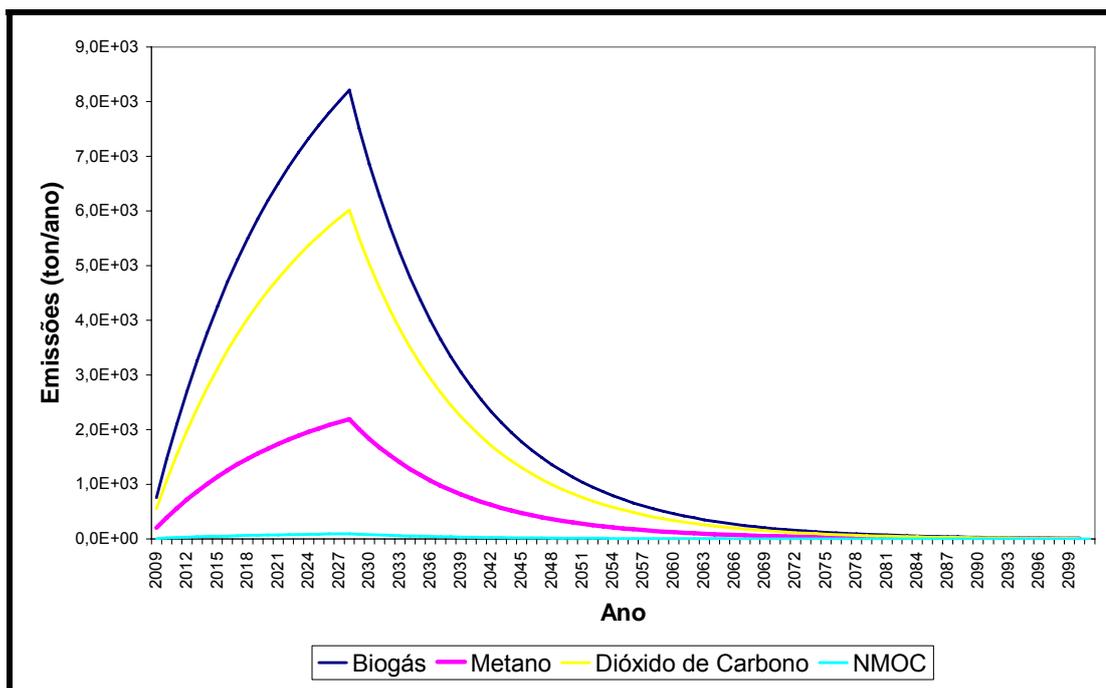
**TABELA 18 (continuação)****Estimativa da população e da geração de resíduos para a Hipótese 2**

Ano	População Estimada	Per capita (kg/hab.dia)	Total (kg/dia)	Total (ton/dia)	Total (ton/ano)
2020	103.962	0,520	34.624	34,62	10.872
2021	104.772	0,505	33.847	33,85	10.628
2022	105.570	0,490	33.081	33,08	10.388
2023	106.355	0,475	32.328	32,33	10.151
2024	107.128	0,461	31.586	31,59	9.918
2025	107.887	0,447	30.855	30,86	9.689
2026	108.631	0,433	30.136	30,14	9.463
2027	109.359	0,420	29.428	29,43	9.240

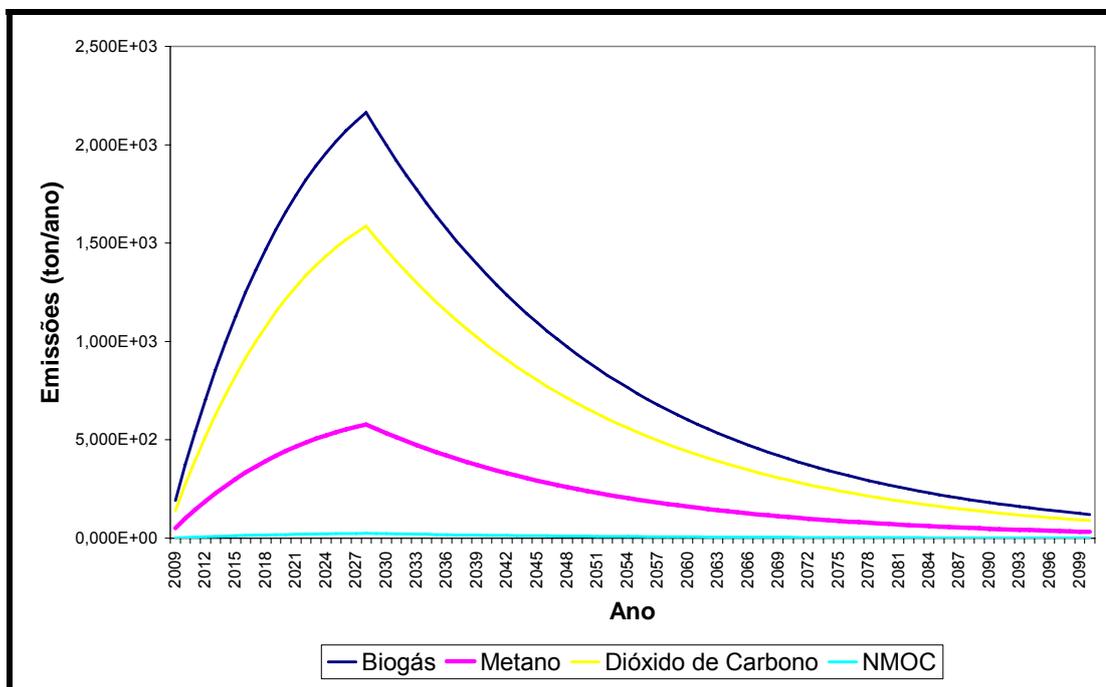
Os resultados do programa da emissão dos gases produzidos no aterro, para cada situação, são apresentados nas FIGURAS 27, 28, 29 e 30, em forma de gráficos. Os dados completos estão nas TABELAS 23, 24, 25 e 26 (ANEXOS G, H, I e J).



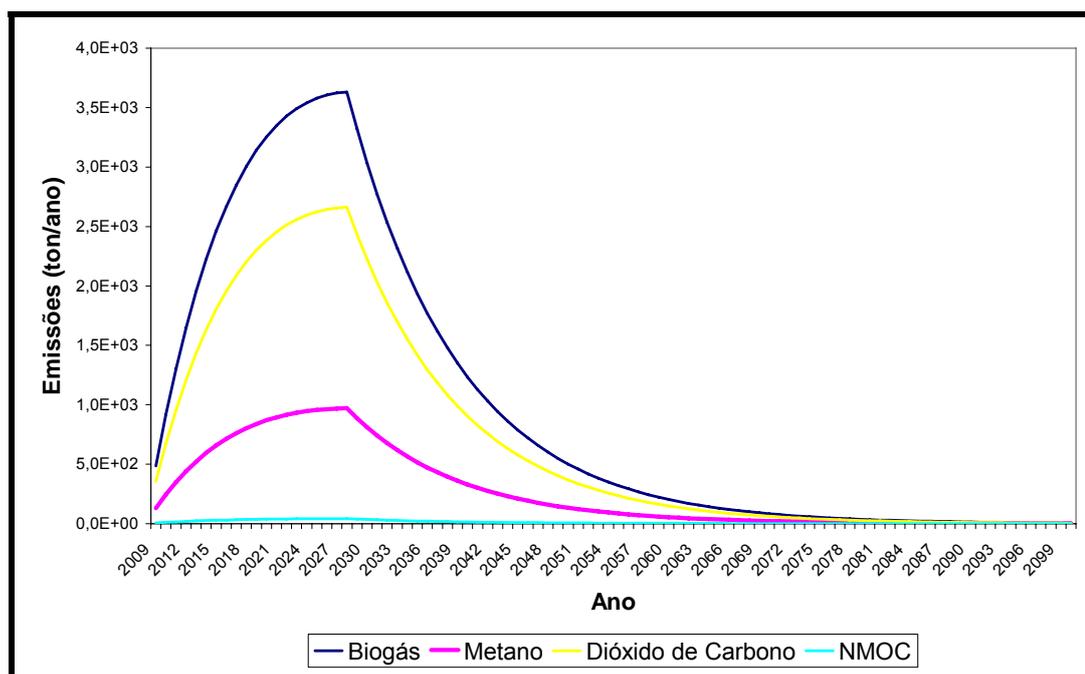
**FIGURA 27 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Primeira Hipótese (CEN 1)**



**FIGURA 28 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Primeira Hipótese (CEN 2)**

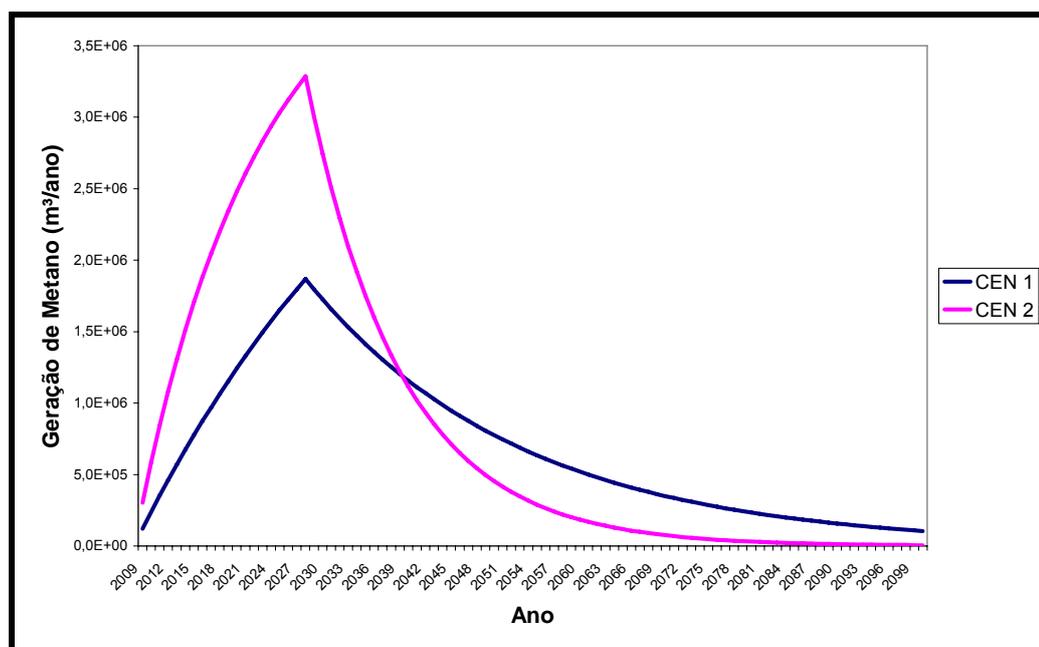


**FIGURA 29 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Segunda Hipótese (CEN 1)**

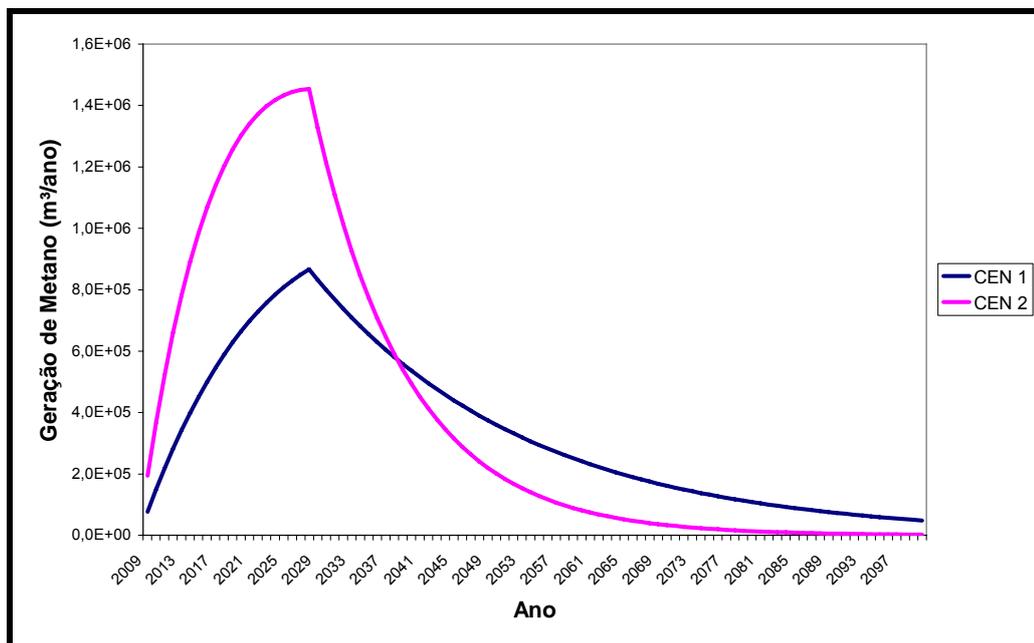


**FIGURA 30 – Produção de gases no aterro sanitário de Itajubá (ton/ano) – Segunda Hipótese (CEN 2)**

O programa gera uma tabela de dados relativos à estimativa da geração de metano, ao longo dos anos, a partir da qual, calculou-se a geração de energia elétrica. Nas FIGURAS 31 e 32, são apresentados graficamente estes dados, para cada hipótese, considerando uma eficiência de captação de gás de 80%.



**FIGURA 31 – Geração de metano (m³/ano) – Primeira Hipótese**



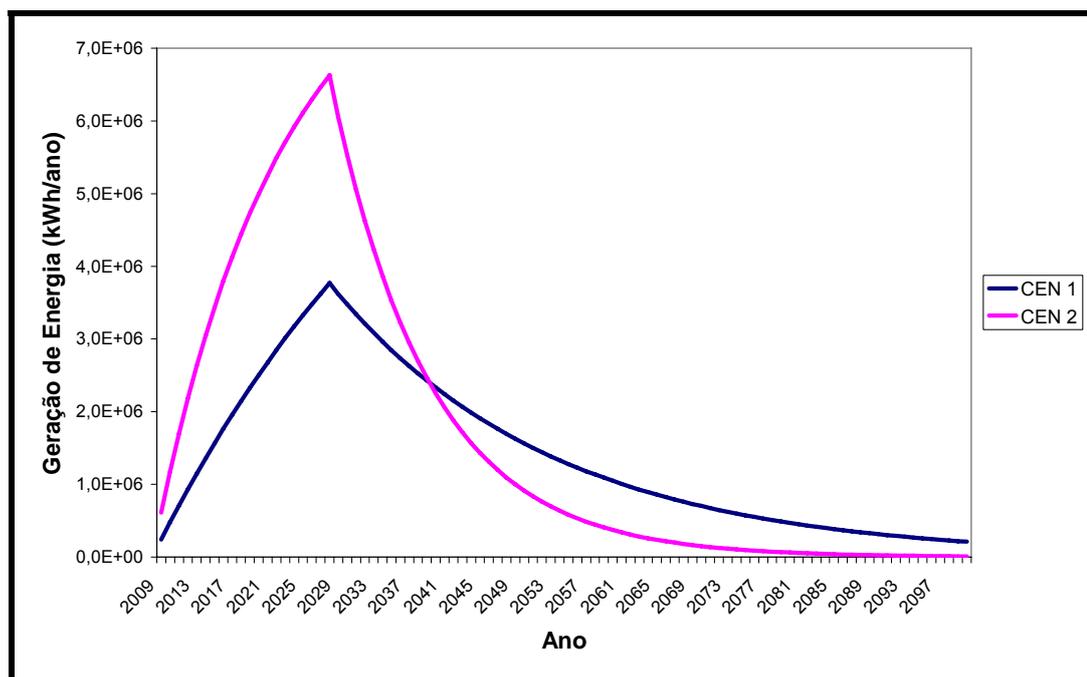
**FIGURA 32 – Geração de metano (m³/ano) – Segunda Hipótese**

Os resultados para cada situação constam nas TABELAS 27, 28, 29 e 30 (ANEXOS L, M, N, e O).

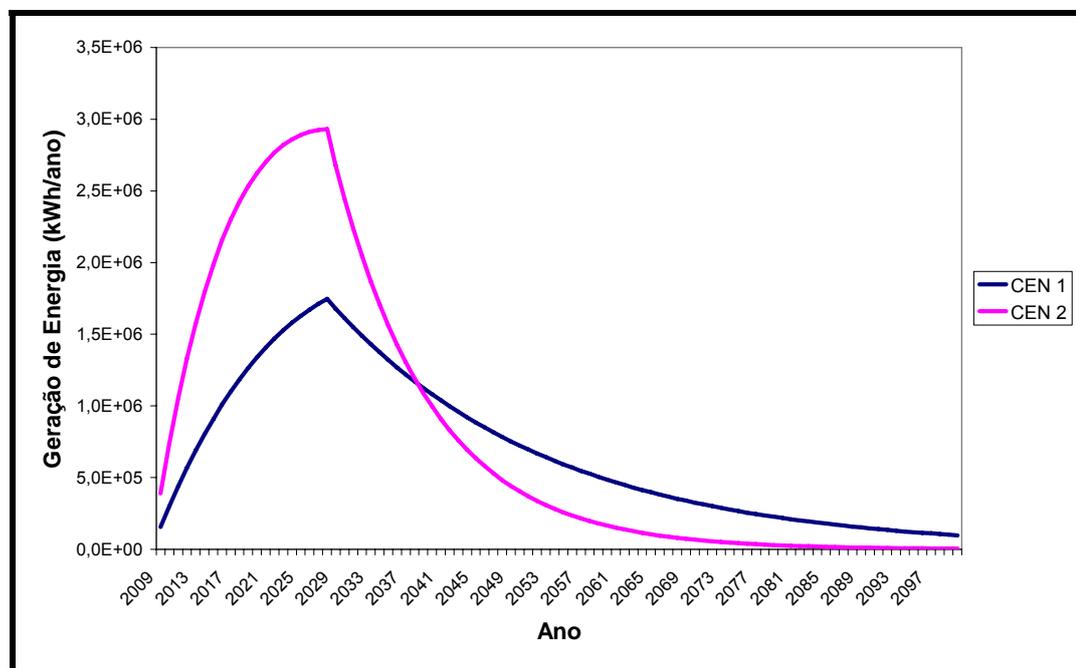
A estimativa da produção de energia foi obtida multiplicando a emissão de metano pelo poder calorífico do metano (10,5 kWh/m³ - LMOP, 2006) e pela eficiência energética do conjunto motor de combustão interna - gerador elétrico (30%) e também pelos 80% do fator de operação de aterro. Nas FIGURAS 33 e 34 são apresentados os gráficos com a geração de energia para o CEN 1 e 2 em cada hipótese.

Os resultados do cálculo do potencial de geração de energia no aterro de Itajubá, para as diferentes situações, podem ser analisados com mais detalhes nas TABELAS 27, 28, 29 e 30 (ANEXOS L, M, N, e O). Esses resultados não levam em consideração perspectivas futuras de disposição de resíduos no aterro, o que leva à obtenção de quantidades de biogás e de energia decrescentes ao longo do período analisado.

Analisando os resultados, tanto da primeira hipótese quanto da segunda, podemos observar que a situação mais otimista para gerar energia elétrica é primeira hipótese – CEN 2, com uma potência máxima de 766,99 kW (pico da curva - 2028). E a situação mais pessimista é segunda hipótese – CEN 1, com uma potência máxima de 202,18 kW (pico da curva - 2028).



**FIGURA 33 – Geração de energia (kWh/ano) – Primeira Hipótese**



**FIGURA 34 – Geração de energia (kWh/ano) – Segunda Hipótese**

### 5.2.3 - Custos e receitas

A análise de custos e receitas foi realizada para a situação otimista e pessimista em termos de geração de energia elétrica, no período de 2009 a 2100.

Na situação otimista, como a potência máxima será de 766,99 kW, é proposta a instalação de quatro U.G.E de 200 kW, para serem instaladas em 2009, 2012, 2016 e 2021. O custo de implantação dessas unidades é de 1000 US\$/kW e o de operação de 7,13 US\$/MWh (TOLMASQUIM, 2003). Para o cálculo desses custos foi considerado 1 US\$ = 2,1070 (INFOMONEY, 2007). A receita foi considerada como a quantidade de energia produzida por ano, sendo que a tarifa utilizada foi de R\$ 0,133/kWh (CEMIG, 2007). Os resultados podem ser visualizados na TABELA 19.

Já na situação pessimista, a potência máxima será de 202,18 kW, sendo, portanto, proposta a instalação de duas U.G.E de 200 kW, uma em 2009 e outra 2027. Os custos e as receitas foram calculados da mesma maneira da situação otimista, sendo os resultados apresentados na TABELA 20.

**TABELA 19 – Resultados dos custos e receitas da situação otimista**

Ano	Potência (kW)	Receita (R\$)	Custo de O&M (R\$)	Custo de Investimento (R\$)	Custo Total Anual (R\$)	Receita Líquida (R\$)	Valor Presente* (R\$)	Saldo (R\$)
2009	70,74	81.286,86	9.181,75	421.400,00	430.581,75	-349.294,89	-349.294,89	- 349.294,89
2010	136,15	156.452,51	17.672,08	0	17.672,08	138.780,43	123.911,10	-225.383,79
2011	196,68	226.011,04	25.529,05	0	25.529,05	200.481,99	159.823,02	- 65.560,77
2012	252,74	290.429,79	32.805,46	421.400,00	454.205,46	-163.775,68	- 116.572,29	- 182.133,06
2013	304,70	350.133,87	39.549,33	0	39.549,33	310.584,54	197.382,09	15.249,03
2014	352,89	405.512,83	45.804,66	0	45.804,66	359.708,17	204.108,08	219.357,10
2015	397,63	456.923,54	51.611,75	0	51.611,75	405.311,80	205.343,57	424.700,67
2016	439,20	504.692,35	57.007,47	421.400,00	478.407,47	26.284,88	11.889,95	436.590,62
2017	477,86	549.118,23	62.025,59	0	62.025,59	487.092,64	196.728,55	633.319,17
2018	513,85	590.475,26	66.697,07	0	66.697,07	523.778,19	188.879,67	822.198,84
2019	547,39	629.014,73	71.050,29	0	71.050,29	557.964,44	179.649,62	1.001.848,45
2020	578,67	664.966,78	75.111,25	0	75.111,25	589.855,53	169.569,37	1.171.417,82
2021	607,89	698.542,55	78.903,79	421.400,00	500.303,79	198.238,75	50.882,95	1.222.300,77
2022	635,21	729.935,76	82.449,81	0	82.449,81	647.485,95	148.387,07	1.370.687,84
2023	660,79	759.323,76	85.769,33	0	85.769,33	673.554,43	137.822,58	1.508.510,42
2024	684,76	786.868,58	88.880,65	0	88.880,65	697.987,93	127.519,79	1.636.030,21
2025	707,25	812.717,63	91.800,43	0	91.800,43	720.917,20	117.597,21	1.753.627,42
2026	728,39	837.004,90	94.543,79	0	94.543,79	742.461,11	108.135,26	1.861.762,68
2027	748,27	859.851,79	97.124,46	0	97.124,46	762.727,33	99.184,75	1.960.947,43
2028	766,99	881.367,87	99.554,81	0	99.554,81	781.813,06	90.773,79	2.051.721,23
2029	700,98	805.509,58	90.986,24	0	90.986,24	714.523,34	74.072,32	2.125.793,55
2030	640,65	736.180,33	83.155,17	0	83.155,17	653.025,16	60.443,76	2.186.237,30
2031	585,51	672.818,16	75.998,10	0	75.998,10	596.820,06	49.322,71	2.235.560,01

**TABELA 19 (continuação)**  
**Resultados dos custos e receitas da situação otimista**

<b>Ano</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Receita (R\$)</b>	<b>Custo de O&amp;M (R\$)</b>	<b>Custo de Investimento (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$)</b>	<b>Receita Líquida (R\$)</b>	<b>Valor Presente*</b> <b>(R\$)</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
2032	535,11	614.909,50	69.457,03	0	69.457,03	545.452,47	40.247,82	2.275.807,83
2033	489,06	561.984,97	63.478,95	0	63.478,95	498.506,02	32.842,63	2.308.650,46
2034	446,96	513.615,59	58.015,39	0	58.015,39	455.600,20	26.799,91	2.335.450,37
2035	408,49	469.409,30	53.022,07	0	53.022,07	416.387,23	21.868,99	2.357.319,36
2036	373,34	429.007,80	48.458,53	0	48.458,53	380.549,27	17.845,32	2.375.164,68
2037	341,20	392.083,61	44.287,76	0	44.287,76	347.795,85	14.561,96	2.389.726,64
2038	311,84	358.337,44	40.475,96	0	40.475,96	317.861,47	11.882,70	2.401.609,34
2039	285,00	327.495,76	36.992,25	0	36.992,25	290.503,51	9.696,40	2.411.305,75
2040	260,47	299.308,59	33.808,37	0	33.808,37	265.500,22	7.912,36	2.419.218,11
2041	238,05	273.547,45	30.898,52	0	30.898,52	242.648,93	6.456,57	2.425.674,67
2042	217,56	250.003,55	28.239,12	0	28.239,12	221.764,42	5.268,62	2.430.943,30
2043	198,84	228.486,04	25.808,61	0	25.808,61	202.677,42	4.299,25	2.435.242,55
2044	181,72	208.820,51	23.587,30	0	23.587,30	185.233,22	3.508,23	2.438.750,78
2045	166,08	190.847,58	21.557,17	0	21.557,17	169.290,41	2.862,75	2.441.613,53
2046	151,79	174.421,56	19.701,77	0	19.701,77	154.719,79	2.336,03	2.443.949,56
2047	138,72	159.409,30	18.006,06	0	18.006,06	141.403,24	1.906,23	2.445.855,79
2048	126,78	145.689,13	16.456,30	0	16.456,30	129.232,83	1.555,50	2.447.411,29
2049	115,87	133.149,84	15.039,93	0	15.039,93	118.109,91	1.269,30	2.448.680,59
2050	105,90	121.689,79	13.745,46	0	13.745,46	107.944,33	1.035,76	2.449.716,36
2051	96,78	111.216,09	12.562,40	0	12.562,40	98.653,69	845,19	2.450.561,55
2052	88,45	101.643,86	11.481,17	0	11.481,17	90.162,69	689,69	2.451.251,24
2053	80,84	92.895,49	10.493,00	0	10.493,00	82.402,49	562,79	2.451.814,03
2054	73,88	84.900,09	9.589,88	0	9.589,88	75.310,21	459,24	2.452.273,27
2055	67,52	77.592,84	8.764,49	0	8.764,49	68.828,35	374,75	2.452.648,02
2056	61,71	70.914,51	8.010,14	0	8.010,14	62.904,37	305,80	2.452.953,81
2057	56,40	64.810,98	7.320,72	0	7.320,72	57.490,27	249,53	2.453.203,35
2058	51,55	59.232,78	6.690,63	0	6.690,63	52.542,15	203,62	2.453.406,97
2059	47,11	54.134,68	6.114,78	0	6.114,78	48.019,91	166,16	2.453.573,13
2060	43,06	49.475,38	5.588,49	0	5.588,49	43.886,89	135,59	2.453.708,71
2061	39,35	45.217,09	5.107,49	0	5.107,49	40.109,60	110,64	2.453.819,35
2062	35,96	41.325,31	4.667,90	0	4.667,90	36.657,41	90,28	2.453.909,64
2063	32,87	37.768,49	4.266,14	0	4.266,14	33.502,35	73,67	2.453.983,31
2064	30,04	34.517,80	3.898,95	0	3.898,95	30.618,84	60,12	2.454.043,43
2065	27,45	31.546,89	3.563,38	0	3.563,38	27.983,52	49,06	2.454.092,48
2066	25,09	28.831,69	3.256,68	0	3.256,68	25.575,01	40,03	2.454.132,51
2067	22,93	26.350,18	2.976,38	0	2.976,38	23.373,80	32,67	2.454.165,18
2068	20,96	24.082,25	2.720,21	0	2.720,21	21.362,04	26,66	2.454.191,83
2069	19,15	22.009,52	2.486,08	0	2.486,08	19.523,44	21,75	2.454.213,58
2070	17,50	20.115,19	2.272,11	0	2.272,11	17.843,08	17,75	2.454.231,33
2071	16,00	18.383,90	2.076,55	0	2.076,55	16.307,35	14,48	2.454.245,82
2072	14,62	16.801,62	1.897,82	0	1.897,82	14.903,79	11,82	2.454.257,63
2073	13,36	15.355,52	1.734,48	0	1.734,48	13.621,04	9,64	2.454.267,28
2074	12,21	14.033,89	1.585,20	0	1.585,20	12.448,69	7,87	2.454.275,15
2075	11,16	12.826,01	1.448,76	0	1.448,76	11.377,25	6,42	2.454.281,57
2076	10,20	11.722,09	1.324,07	0	1.324,07	10.398,02	5,24	2.454.286,81
2077	9,32	10.713,18	1.210,11	0	1.210,11	9.503,08	4,28	2.454.291,09

**TABELA 19 (continuação)**  
**Resultados dos custos e receitas da situação otimista**

<b>Ano</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Receita (R\$)</b>	<b>Custo de O&amp;M (R\$)</b>	<b>Custo de Investimento (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$)</b>	<b>Receita Líquida (R\$)</b>	<b>Valor Presente*</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
2078	8,52	9.791,11	1.105,95	0	1.105,95	8.685,16	3,49	2.454.294,57
2079	7,79	8.948,40	1.010,77	0	1.010,77	7.937,64	2,85	2.454.297,42
2080	7,12	8.178,22	923,77	0	923,77	7.254,45	2,32	2.454.299,75
2081	6,50	7.474,33	844,26	0	844,26	6.630,07	1,90	2.454.301,64
2082	5,94	6.831,03	771,60	0	771,60	6.059,43	1,55	2.454.303,19
2083	5,43	6.243,09	705,19	0	705,19	5.537,90	1,26	2.454.304,45
2084	4,97	5.705,75	644,49	0	644,49	5.061,26	1,03	2.454.305,48
2085	4,54	5.214,67	589,02	0	589,02	4.625,64	0,84	2.454.306,32
2086	4,15	4.765,85	538,33	0	538,33	4.227,52	0,69	2.454.307,01
2087	3,79	4.355,66	491,99	0	491,99	3.863,66	0,56	2.454.307,57
2088	3,46	3.980,77	449,65	0	449,65	3.531,12	0,46	2.454.308,02
2089	3,17	3.638,15	410,95	0	410,95	3.227,20	0,37	2.454.308,40
2090	2,89	3.325,02	375,58	0	375,58	2.949,44	0,30	2.454.308,70
2091	2,64	3.038,84	343,25	0	343,25	2.695,59	0,25	2.454.308,95
2092	2,42	2.777,29	313,71	0	313,71	2.463,58	0,20	2.454.309,15
2093	2,21	2.538,25	286,71	0	286,71	2.251,54	0,17	2.454.309,32
2094	2,02	2.319,79	262,03	0	262,03	2.057,76	0,13	2.454.309,45
2095	1,84	2.120,13	239,48	0	239,48	1.880,65	0,11	2.454.309,56
2096	1,69	1.937,65	218,87	0	218,87	1.718,78	0,09	2.454.309,65
2097	1,54	1.770,88	200,03	0	200,03	1.570,85	0,07	2.454.309,73
2098	1,41	1.618,46	182,81	0	182,81	1.435,65	0,06	2.454.309,78
2099	1,29	1.479,16	167,08	0	167,08	1.312,08	0,05	2.454.309,83
2100	1,18	1.351,85	152,70	0	152,70	1.199,15	0,04	2.454.309,87

\* Taxa de juros considerada: 12% ao ano.

**TABELA 20 – Resultados dos custos e receitas da situação pessimista**

<b>Ano</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Receita (R\$)</b>	<b>Custo de O&amp;M (R\$)</b>	<b>Custo de Investimento (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$)</b>	<b>Receita Líquida (R\$)</b>	<b>Valor Presente*</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
2009	18,00	20.686,22	2.336,61	421.400,00	423.736,61	-403.050,39	-403.050,39	-403.050,39
2010	34,95	40.156,73	4.535,90	0	4.535,90	35.620,83	31.804,32	-371.246,08
2011	50,88	58.461,83	6.603,55	0	6.603,55	51.858,28	41.341,10	-329.904,98
2012	65,83	75.649,51	8.544,98	0	8.544,98	67.104,52	47.763,68	-282.141,30
2013	79,86	91.765,79	10.365,39	0	10.365,39	81.400,40	51.731,43	-230.409,88
2014	92,99	106.855,46	12.069,85	0	12.069,85	94.785,61	53.783,90	-176.625,97
2015	105,26	120.962,01	13.663,25	0	13.663,25	107.298,76	54.360,89	-122.265,08
2016	116,72	134.127,53	15.150,36	0	15.150,36	118.977,17	53.819,23	-68.445,85
2017	127,40	146.392,84	16.535,79	0	16.535,79	129.857,05	52.447,09	-15.998,77
2018	137,32	157.797,52	17.824,00	0	17.824,00	139.973,52	50.475,85	34.477,09
2019	146,53	168.379,92	19.019,33	0	19.019,33	149.360,58	48.090,11	82.567,20
2020	155,06	178.177,09	20.125,97	0	20.125,97	158.051,12	45.435,92	128.003,12
2021	162,93	187.224,93	21.147,97	0	21.147,97	166.076,96	42.627,82	170.630,94
2022	170,18	195.558,10	22.089,24	0	22.089,24	173.468,86	39.754,59	210.385,52
2023	176,84	203.210,05	22.953,57	0	22.953,57	180.256,48	36.884,05	247.269,57
2024	182,93	210.212,95	23.744,58	0	23.744,58	186.468,37	34.067,07	281.336,64
2025	188,49	216.597,65	24.465,76	0	24.465,76	192.131,89	31.340,87	312.677,52

**TABELA 20 (continuação)**  
**Resultados dos custos e receitas da situação pessimista**

<b>Ano</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Receita (R\$)</b>	<b>Custo de O&amp;M (R\$)</b>	<b>Custo de Investimento (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$)</b>	<b>Receita Líquida (R\$)</b>	<b>Valor Presente*</b> <b>(R\$)</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
2026	193,53	222.393,72	25.120,46	0	25.120,46	197.273,26	28.731,73	341.409,25
2027	198,09	227.629,45	25.711,86	421.400,00	447.111,86	-219.482,41	28.541,40	312.867,85
2028	202,18	232.331,88	26.243,02	0	26.243,02	206.088,86	23.928,31	336.796,16
2029	194,25	223.222,02	25.214,02	0	25.214,02	198.008,00	20.526,85	357.323,01
2030	186,64	214.469,36	24.225,36	0	24.225,36	190.243,99	17.608,91	374.931,92
2031	179,32	206.059,89	23.275,47	0	23.275,47	182.784,42	15.105,76	390.037,68
2032	172,29	197.980,17	22.362,83	0	22.362,83	175.617,34	12.958,44	402.996,13
2033	165,53	190.217,25	21.485,97	0	21.485,97	168.731,29	11.116,37	414.112,50
2034	159,04	182.758,73	20.643,49	0	20.643,49	162.115,24	9.536,15	423.648,65
2035	152,81	175.592,66	19.834,05	0	19.834,05	155.758,61	8.180,57	431.829,22
2036	146,81	168.707,57	19.056,34	0	19.056,34	149.651,23	7.017,68	438.846,90
2037	141,06	162.092,45	18.309,13	0	18.309,13	143.783,32	6.020,10	444.867,01
2038	135,53	155.736,72	17.591,22	0	17.591,22	138.145,49	5.164,33	450.031,34
2039	130,21	149.630,19	16.901,46	0	16.901,46	132.728,73	4.430,21	454.461,55
2040	125,11	143.763,11	16.238,75	0	16.238,75	127.524,36	3.800,45	458.261,99
2041	120,20	138.126,08	15.602,02	0	15.602,02	122.524,06	3.260,20	461.522,19
2042	115,49	132.710,08	14.990,25	0	14.990,25	117.719,82	2.796,76	464.318,95
2043	110,96	127.506,44	14.402,48	0	14.402,48	113.103,96	2.399,19	466.718,14
2044	106,61	122.506,84	13.837,75	0	13.837,75	108.669,09	2.058,14	468.776,29
2045	102,43	117.703,28	13.295,16	0	13.295,16	104.408,12	1.765,57	470.541,86
2046	98,41	113.088,07	12.773,85	0	12.773,85	100.314,22	1.514,59	472.056,45
2047	94,55	108.653,82	12.272,98	0	12.272,98	96.380,84	1.299,29	473.355,74
2048	90,85	104.393,44	11.791,75	0	11.791,75	92.601,69	1.114,59	474.470,33
2049	87,28	100.300,12	11.329,39	0	11.329,39	88.970,73	956,15	475.426,48
2050	83,86	96.367,29	10.885,16	0	10.885,16	85.482,14	820,23	476.246,71
2051	80,57	92.588,68	10.458,34	0	10.458,34	82.130,33	703,63	476.950,35
2052	77,41	88.958,22	10.048,27	0	10.048,27	78.909,96	603,61	477.553,96
2053	74,38	85.470,12	9.654,27	0	9.654,27	75.815,85	517,81	478.071,76
2054	71,46	82.118,79	9.275,72	0	9.275,72	72.843,07	444,20	478.515,96
2055	68,66	78.898,87	8.912,01	0	8.912,01	69.986,85	381,05	478.897,02
2056	65,97	75.805,20	8.562,57	0	8.562,57	67.242,63	326,89	479.223,90
2057	63,38	72.832,83	8.226,82	0	8.226,82	64.606,01	280,42	479.504,32
2058	60,90	69.977,02	7.904,25	0	7.904,25	62.072,77	240,56	479.744,88
2059	58,51	67.233,18	7.594,32	0	7.594,32	59.638,86	206,36	479.951,24
2060	56,21	64.596,93	7.296,54	0	7.296,54	57.300,39	177,03	480.128,27
2061	54,01	62.064,05	7.010,44	0	7.010,44	55.053,61	151,86	480.280,13
2062	51,89	59.630,48	6.735,55	0	6.735,55	52.894,93	130,27	480.410,40
2063	49,86	57.292,34	6.471,45	0	6.471,45	50.820,89	111,76	480.522,16
2064	47,90	55.045,87	6.217,70	0	6.217,70	48.828,17	95,87	480.618,03
2065	46,02	52.887,49	5.973,90	0	5.973,90	46.913,59	82,24	480.700,27
2066	44,22	50.813,74	5.739,66	0	5.739,66	45.074,08	70,55	480.770,82
2067	42,49	48.821,31	5.514,61	0	5.514,61	43.306,70	60,52	480.831,34
2068	40,82	46.907,00	5.298,37	0	5.298,37	41.608,62	51,92	480.883,26
2069	39,22	45.067,75	5.090,62	0	5.090,62	39.977,13	44,54	480.927,80
2070	37,68	43.300,62	4.891,02	0	4.891,02	38.409,60	38,21	480.966,00
2071	36,20	41.602,77	4.699,24	0	4.699,24	36.903,54	32,78	480.998,78
2072	34,78	39.971,51	4.514,98	0	4.514,98	35.456,53	28,12	481.026,90
2073	33,42	38.404,20	4.337,94	0	4.337,94	34.066,26	24,12	481.051,02

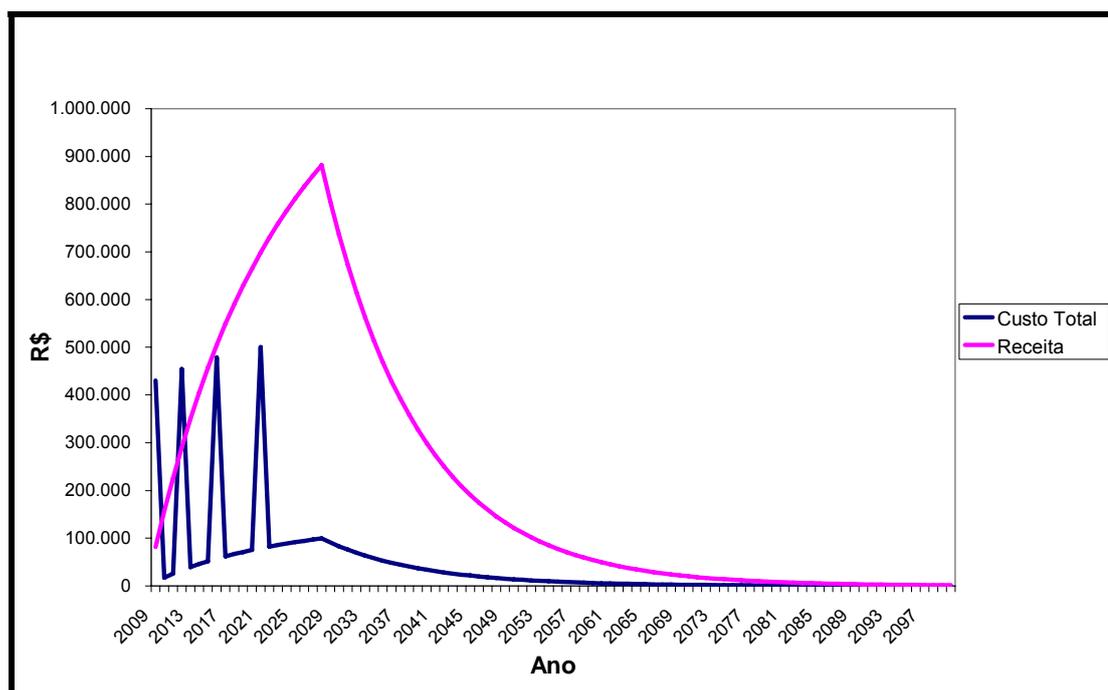
**TABELA 20 (continuação)**  
**Resultados dos custos e receitas da situação pessimista**

<b>Ano</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Receita (R\$)</b>	<b>Custo de O&amp;M (R\$)</b>	<b>Custo de Investimento (R\$)</b>	<b>Custo Total Anual (R\$)</b>	<b>Receita Líquida (R\$)</b>	<b>Valor Presente*</b> <b>(R\$)</b>	<b>Saldo (R\$)</b>
2074	32,11	36.898,35	4.167,85	0	4.167,85	32.730,50	20,69	481.071,71
2075	30,85	35.451,55	4.004,43	0	4.004,43	31.447,12	17,75	481.089,46
2076	29,64	34.061,47	3.847,41	0	3.847,41	30.214,06	15,23	481.104,68
2077	28,48	32.725,90	3.696,55	0	3.696,55	29.029,35	13,06	481.117,75
2078	27,36	31.442,70	3.551,61	0	3.551,61	27.891,09	11,21	481.128,95
2079	26,29	30.209,81	3.412,35	0	3.412,35	26.797,47	9,61	481.138,56
2080	25,26	29.025,27	3.278,55	0	3.278,55	25.746,72	8,25	481.146,81
2081	24,27	27.887,17	3.149,99	0	3.149,99	24.737,18	7,07	481.153,88
2082	23,32	26.793,70	3.026,48	0	3.026,48	23.767,22	6,07	481.159,95
2083	22,40	25.743,11	2.907,81	0	2.907,81	22.835,30	5,21	481.165,16
2084	21,52	24.733,70	2.793,79	0	2.793,79	21.939,91	4,47	481.169,62
2085	20,68	23.763,88	2.684,25	0	2.684,25	21.079,64	3,83	481.173,45
2086	19,87	22.832,09	2.579,00	0	2.579,00	20.253,09	3,29	481.176,74
2087	19,09	21.936,83	2.477,87	0	2.477,87	19.458,96	2,82	481.179,56
2088	18,34	21.076,67	2.380,71	0	2.380,71	18.695,96	2,42	481.181,98
2089	17,62	20.250,24	2.287,36	0	2.287,36	17.962,88	2,07	481.184,05
2090	16,93	19.456,22	2.197,68	0	2.197,68	17.258,55	1,78	481.185,83
2091	16,27	18.693,33	2.111,50	0	2.111,50	16.581,83	1,53	481.187,36
2092	15,63	17.960,36	2.028,71	0	2.028,71	15.931,65	1,31	481.188,67
2093	15,02	17.256,12	1.949,16	0	1.949,16	15.306,96	1,12	481.189,79
2094	14,43	16.579,50	1.872,74	0	1.872,74	14.706,76	0,96	481.190,76
2095	13,86	15.929,41	1.799,30	0	1.799,30	14.130,10	0,83	481.191,58
2096	13,32	15.304,81	1.728,75	0	1.728,75	13.576,05	0,71	481.192,29
2097	12,80	14.704,70	1.660,97	0	1.660,97	13.043,73	0,61	481.192,90
2098	12,29	14.128,12	1.595,84	0	1.595,84	12.532,28	0,52	481.193,42
2099	11,81	13.574,14	1.533,27	0	1.533,27	12.040,88	0,45	481.193,87
2100	11,35	13.041,89	1.473,15	0	1.473,15	11.568,75	0,38	481.194,25

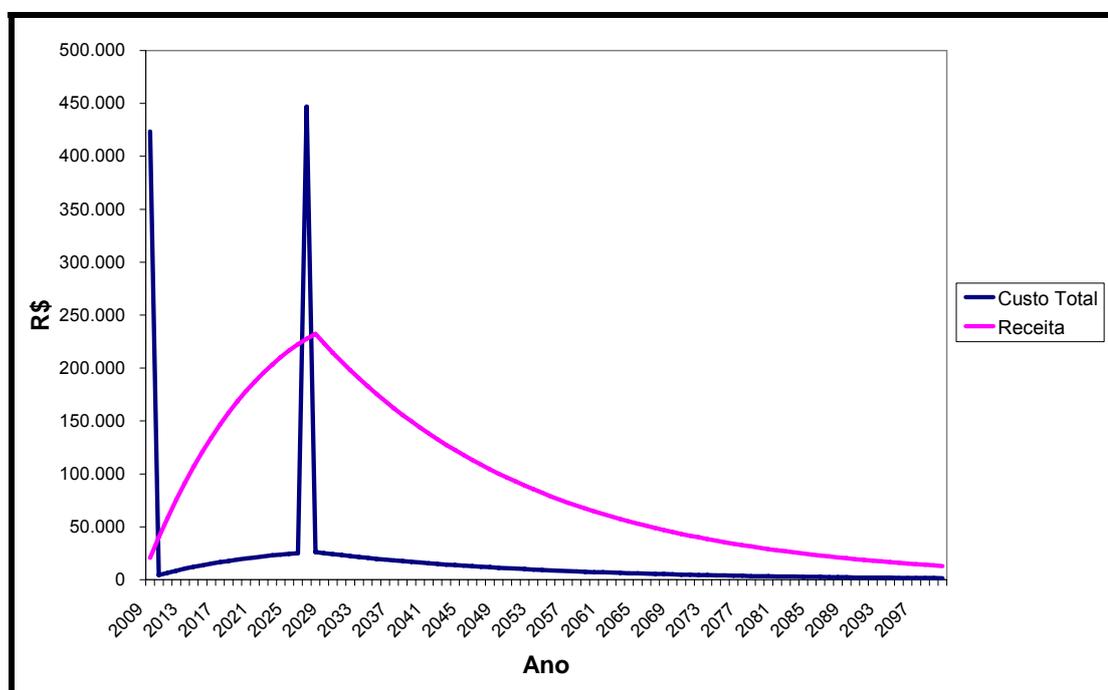
\* Taxa de juros considerada: 12% ao ano.

Os resultados de custo total e receita líquida das tabelas acima são representados graficamente nas FIGURAS 35 e 36.

Considerando esses dados, observa-se que, na situação otimista, em cinco anos, há o retorno do capital investido, representado, no fim do empreendimento, um lucro total de R\$ 2.454.309,87. Já na situação pessimista, há um retorno após dez anos, em proporções menores que a situação anterior, totalizando um lucro de R\$ 481.194,25.



**FIGURA 35 – Custos e receita da situação otimista**



**FIGURA 36 – Custos e receita da situação pessimista**

#### **5.2.4 – Alocação das Unidades de Geração de Energia**

O espaço destinado à implantação das UGE no futuro aterro sanitário, encontra-se delimitado nos mapas constantes nos ANEXOS C e D, tendo uma área total de 225 m<sup>2</sup>.

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na atualidade, a sociedade se depara com um grande desafio a ser mediado entre todos, no que concerne à gestão adequada dos seus RSU e a escassez de energia elétrica. Uma alternativa proposta para enfrentar esse desafio é gerar energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos, contribuindo para solucionar tanto os problemas de disposição inadequada destes resíduos quanto da falta de energia elétrica num futuro próximo.

Para que o município de Itajubá se desenvolva de forma sustentável, é essencial o gerenciamento adequado de seus resíduos bem como a valorização de fontes alternativas e menos poluidoras de energia. Sendo assim, a utilização do gás metano para gerar energia elétrica enquadra-se nos quesitos de desenvolvimento sustentável, tendo em vista a grande quantidade de metano que deixa de ser lançado para a atmosfera.

Com a geração de energia elétrica, proposta para o município, no período de 2009 a 2100, considerando a situação otimista deixariam de ser lançados para a atmosfera 61.500.000 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> e, na pessimista, 20.500.000 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>.

O potencial de geração de biogás em um aterro depende de muitos fatores, incluindo a composição e a idade do resíduo, presença de oxigênio, umidade, tamanho das partículas, pH, temperatura, entre outros.

Para iniciar o estudo da potencialidade energética dos resíduos sólidos domésticos e comerciais do município de Itajubá, realizou-se primeiro a caracterização física, que é uma das características mais importantes, uma vez que, sem seu conhecimento, é praticamente impossível se efetuar a gestão adequada dos serviços de limpeza urbana bem como da implantação da coleta diferenciada.

Por meio da caracterização dos RSD e RSC pode-se ver a mudança comportamental e cultural de uma cidade, ao longo do tempo, bem como as relações existentes entre as diversas classes sociais. Os resíduos sólidos domésticos gerados no município de Itajubá são compostos por 41,9 % de matéria orgânica, 31,5 % de material potencialmente reciclado, 3,9 % de trapo, 8,8 % de

entulho, 10,6 % de restos de banheiro e 3,3 % de rejeitos. E os resíduos comerciais são compostos de 44,1 % de material orgânico, 41,0% de material potencialmente reciclável, 0,8% de trapo, 2,4 % de entulho, 9,5% de restos de banheiro e 2,2% de rejeitos. Recomenda-se que a caracterização seja repetida periodicamente, para avaliar a composição destes resíduos ao longo do tempo.

A metodologia adotada neste estudo para estimar a geração de biogás é mundialmente utilizada, porém, segundo CEPEA (2004) e SCHARFF & JACOBS (2006), o programa LandGEM pode superestimar a geração de metano, devendo, portanto, os resultados serem aferidos por medidas em campo quando o aterro começar a operar. Essas diferenças entre o valor teórico e o medido em campo se devem muitas vezes à adoção de valores muito altos para o potencial de geração de metano ( $L_0$ ) e a baixa eficiência do sistema de coleta de biogás presente no aterro.

Portanto, para um eficaz aproveitamento do biogás, é necessário que alguns cuidados sejam tomados na fase de projeto e execução do aterro, com vistas principalmente à eficiência de captação do biogás, que depende de como será feita a cobertura final da célula, da estabilidade do aterro, da distribuição eficiente dos drenos e da sua montagem.

Os parâmetros de entrada mais importantes do programa são o  $L_0$  e  $k$ , pois refletem a realidade da geração de metano ao longo dos anos. Como o aterro ainda não está em operação, e, portanto, não há dados específicos do local, optou-se por estudar duas hipóteses em dois cenários com  $k$  e  $L_0$  diferentes. A primeira hipótese considera que a produção de resíduos por habitante seja constante durante toda vida útil do aterro. Já a segunda considera que haverá um programa de educação ambiental, focado na política dos 3 Rs, reduzindo a geração de resíduos por habitante em 3% ao ano e que todos resíduos potencialmente recicláveis não serão destinados ao aterro, visto que o município possui uma quantidade de material reciclável significativa, sendo viável a implantação de um sistema de coleta de lixo seletiva. Esses materiais poderiam ser vendidos para sucateiros ou empresas de reciclagem existentes no município, ou poderia ser montada uma associação com os catadores de rua para sua reciclagem.

Para o sucesso das ações na área de resíduos sólidos é necessário que estas façam parte de um gerenciamento integrado desses resíduos que contemple a coleta regular, uma eventual segunda etapa de triagem e, finalmente, a disposição final adequada.

O valor máximo da potência elétrica determinado foi obtido após um ano do encerramento da disposição de resíduos sólidos no aterro e apresentou um valor em torno de 767 kW na situação otimista e 202 kW na situação pessimista. Esses potenciais estimados de geração de energia podem ser alterados em função do crescimento populacional e da renda da população, da implantação de políticas de aproveitamento de resíduos de novas tecnologias e da disponibilidade de recursos para investimentos.

Faz parte da proposta deste estudo que sejam instaladas unidades de geração de energia elétrica no aterro, para atender à necessidade energética do próprio local, e, havendo excedente dessa energia, esta poderá ser vendida para a concessionária local.

Na análise dos custos e da receita, considerou-se que toda energia seria vendida para a concessionária local. Isso porque, não havia um projeto elétrico do aterro sanitário para estimar a quantidade de energia elétrica necessária para suprir às necessidades do local.

A partir da análise dos custos e da receita, pode-se concluir que a implantação de unidades de geração de energia no aterro sanitário são viáveis mesmo considerando a pior situação. Na situação otimista, em quatro anos, começa a haver retorno do capital investido, somando no fim do empreendimento um lucro de R\$ 16.600.992,58. Já na situação pessimista, começa a haver retorno após cinco anos, em proporções menores da situação anterior, totalizando um lucro de R\$ 6.579.910,79.

É importante ressaltar que a geração de energia a partir de gás de aterro sanitário pode também produzir emissões de alguns gases, como óxido de nitrogênio, sendo necessária a adoção de medidas para minimizar tais emissões.

Além desses gases, na combustão do CH<sub>4</sub>, será emitido, para a atmosfera, CO<sub>2</sub> que, juntamente, com aquele CO<sub>2</sub> gerado pelos resíduos, pode ser estudo de implantação de projetos que viabilizem a obtenção de créditos de carbono no aterro local.

Recomenda-se a alocação de poços de monitoramento, para auxílio de trabalhos futuros, na medição de umidade, pH, temperatura, conforme a alocação nos mapas de implantação e encerramento do aterro sanitário (ANEXOS C e D).

**ANEXO A**

***Formulário de caracterização física dos resíduos sólidos urbanos***

<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS</b>					
<b>Município:</b>		<b>N° da Amostra:</b>		<b>Tempo</b>	
Bairro:		Data (mês):		quente	
Hora:		Dia da Semana:		Frio	
<b>GERAÇÃO PER CAPITA (kg / hab. dia)</b>				nublado	
Tara do Veículo Coletor (kg):		N° de dom. ou estab. comerciais coletados:		chuvoso	
Peso Bruto (kg):				<b>Classe Social</b>	
Peso Líquido (kg):					
Frequência da Coleta Conv. na Área Coletada:					
<b>COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA</b>					
<b>Componentes</b>	<b>Tara do Recipiente (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Peso Líquido (kg)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>	
Restos de alimentos					
Restos de podas					
Papel reciclável					
Papelão					
Plástico mole					
Plástico duro					
Pet					
Tetra Pak					
Metal (Aço)					
Metal (Alumínio)					
Metal não ferroso					
Vidro					
Trapo					
Restos de banheiro					
Entulho					
Outros					
TOTAL					
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE DOS RESÍDUOS COLETADOS</b>					
<b>Recipiente</b>	<b>Tara do Recipiente (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Peso Líquido (kg)</b>	<b>Volume Recipiente (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
I					
II					
III					
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE DO CONJ. RESÍDUOS POTENCIALMENTE RECICLÁVEIS</b>					
<b>Recipiente</b>	<b>Tara do Recipiente (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Peso Líquido (kg)</b>	<b>Volume Recipiente (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
I					
II					
III					
<b>OBS.:</b>					

**ANEXO B**

***Formulário de caracterização dos trechos de coleta de amostras***



**ANEXO C**

***Planta de implantação do aterro sanitário –***

***Layout e paisagismo inicial***

***(Fonte: MONTEIRO & COSTA, 2006)***



**ANEXO D**

***Planta de encerramento do aterro sanitário –***

***Layout e paisagismo final***

***(Fonte: MONTEIRO & COSTA, 2006)***



**ANEXO E*****TABELA 21 – Variação da produção de metano em função de k***

**TABELA 21 – Variação da produção de metano em função de k**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	25,00	20,00	33,33	12,50	11,11
2009	24,44	19,47	32,15	12,00	10,62
2010	23,84	18,89	30,89	11,47	10,10
2011	23,25	18,33	29,68	10,96	9,60
2012	22,68	17,79	28,51	10,47	9,12
2013	22,12	17,26	27,39	10,00	8,66
2014	21,57	16,74	26,30	9,54	8,22
2015	21,04	16,24	25,26	9,11	7,80
2016	20,51	15,75	24,26	8,69	7,40
2017	20,01	15,28	23,30	8,29	7,02
2018	19,51	14,82	22,37	7,91	6,66
2019	19,03	14,38	21,49	7,54	6,31
2020	18,55	13,94	20,63	7,19	5,98
2021	18,09	13,52	19,81	6,85	5,67
2022	17,64	13,12	19,02	6,53	5,38
2023	17,20	12,72	18,27	6,23	5,09
2024	16,78	12,33	17,54	5,94	4,83
2025	16,36	11,96	16,85	5,66	4,57
2026	15,95	11,60	16,18	5,39	4,33
2027	15,56	11,25	15,54	5,14	4,11
2028	15,17	10,91	14,93	4,90	3,89
2029	14,03	9,81	12,65	3,86	2,86
2030	12,89	8,71	10,42	2,82	1,83
2031	11,77	7,63	8,23	1,80	0,82
2032	10,66	6,56	6,09	0,79	-0,18
2033	9,56	5,50	3,99	-0,22	-1,18
2034	8,47	4,45	1,93	-1,21	-2,16
2035	7,39	3,41	-0,09	-2,19	-3,13
2036	6,32	2,38	-2,07	-3,17	-4,10
2037	5,26	1,36	-4,01	-4,13	-5,05
2038	4,21	0,35	-5,91	-5,08	-6,00
2039	3,18	-0,64	-7,77	-6,03	-6,93
2040	2,15	-1,63	-9,60	-6,96	-7,86
2041	1,13	-2,61	-11,39	-7,89	-8,77
2042	0,13	-3,58	-13,14	-8,80	-9,68
2043	-0,87	-4,54	-14,86	-9,71	-10,58
2044	-1,86	-5,49	-16,55	-10,61	-11,47
2045	-2,83	-6,43	-18,20	-11,50	-12,35
2046	-3,80	-7,36	-19,82	-12,38	-13,22
2047	-4,76	-8,28	-21,41	-13,25	-14,09
2048	-5,70	-9,20	-22,96	-14,12	-14,94
2049	-6,64	-10,10	-24,49	-14,97	-15,79
2050	-7,57	-10,99	-25,98	-15,82	-16,63
2051	-8,49	-11,88	-27,45	-16,65	-17,46
2052	-9,40	-12,76	-28,89	-17,48	-18,28
2053	-10,30	-13,62	-30,29	-18,30	-19,09

**TABELA 21 (continuação)**  
**Varição da produção de metano em função de k**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	25,00	20,00	33,33	12,50	11,11
2054	-11,20	-14,48	-31,67	-19,12	-19,89
2055	-12,08	-15,33	-33,03	-19,92	-20,69
2056	-12,95	-16,18	-34,35	-20,72	-21,48
2057	-13,82	-17,01	-35,65	-21,51	-22,26
2058	-14,68	-17,84	-36,93	-22,29	-23,04
2059	-15,53	-18,65	-38,18	-23,06	-23,80
2060	-16,37	-19,46	-39,40	-23,83	-24,56
2061	-17,20	-20,26	-40,60	-24,59	-25,31
2062	-18,02	-21,06	-41,78	-25,34	-26,05
2063	-18,84	-21,84	-42,93	-26,08	-26,79
2064	-19,65	-22,62	-44,06	-26,81	-27,52
2065	-20,45	-23,39	-45,17	-27,54	-28,24
2066	-21,24	-24,15	-46,25	-28,26	-28,95
2067	-22,02	-24,91	-47,32	-28,98	-29,66
2068	-22,80	-25,66	-48,36	-29,68	-30,36
2069	-23,57	-26,40	-49,38	-30,38	-31,05
2070	-24,33	-27,13	-50,39	-31,08	-31,74
2071	-25,08	-27,85	-51,37	-31,76	-32,42
2072	-25,82	-28,57	-52,33	-32,44	-33,09
2073	-26,56	-29,28	-53,27	-33,11	-33,76
2074	-27,29	-29,98	-54,20	-33,78	-34,42
2075	-28,02	-30,68	-55,11	-34,44	-35,07
2076	-28,73	-31,37	-56,00	-35,09	-35,71
2077	-29,44	-32,05	-56,87	-35,74	-36,35
2078	-30,14	-32,73	-57,72	-36,38	-36,99
2079	-30,84	-33,40	-58,56	-37,01	-37,61
2080	-31,53	-34,06	-59,38	-37,64	-38,23
2081	-32,21	-34,72	-60,18	-38,26	-38,85
2082	-32,88	-35,37	-60,97	-38,87	-39,46
2083	-33,55	-36,01	-61,74	-39,48	-40,06
2084	-34,21	-36,65	-62,50	-40,08	-40,66
2085	-34,87	-37,28	-63,24	-40,68	-41,25
2086	-35,52	-37,90	-63,97	-41,27	-41,83
2087	-36,16	-38,52	-64,69	-41,85	-42,41
2088	-36,79	-39,13	-65,38	-42,43	-42,98
2089	-37,42	-39,74	-66,07	-43,00	-43,55
2090	-38,04	-40,34	-66,74	-43,57	-44,11
2091	-38,66	-40,93	-67,40	-44,13	-44,67
2092	-39,27	-41,52	-68,05	-44,69	-45,22
2093	-39,87	-42,10	-68,68	-45,24	-45,76
2094	-40,47	-42,68	-69,30	-45,78	-46,30
2095	-41,07	-43,25	-69,91	-46,32	-46,84
2096	-41,65	-43,81	-70,50	-46,86	-47,37
2097	-42,23	-44,37	-71,09	-47,38	-47,89
2098	-42,81	-44,92	-71,66	-47,91	-48,41

**TABELA 21 (continuação)**  
**Variação da produção de metano em função de k**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	25,00	20,00	33,33	12,50	11,11
2099	-43,38	-45,47	-72,22	-48,43	-48,92
2100	-43,94	-46,01	-72,77	-48,94	-49,43
2101	-44,50	-46,55	-73,31	-49,45	-49,93
2102	-45,05	-47,08	-73,84	-49,95	-50,43
2103	-45,60	-47,61	-74,36	-50,45	-50,93
2104	-46,14	-48,13	-74,86	-50,94	-51,41
2105	-46,67	-48,65	-75,36	-51,43	-51,90
2106	-47,20	-49,16	-75,85	-51,91	-52,38
2107	-47,73	-49,66	-76,33	-52,39	-52,85
2108	-48,25	-50,17	-76,80	-52,87	-53,32
2109	-48,76	-50,66	-77,26	-53,33	-53,78
2110	-49,27	-51,15	-77,71	-53,80	-54,24
2111	-49,78	-51,64	-78,15	-54,26	-54,70
2112	-50,28	-52,12	-78,58	-54,71	-55,15
2113	-50,77	-52,60	-79,00	-55,16	-55,60
2114	-51,26	-53,07	-79,42	-55,61	-56,04
2115	-51,75	-53,53	-79,83	-56,05	-56,47
2116	-52,23	-54,00	-80,23	-56,49	-56,91
2117	-52,70	-54,45	-80,62	-56,92	-57,34
2118	-53,17	-54,91	-81,00	-57,35	-57,76
2119	-53,64	-55,36	-81,38	-57,78	-58,18
2120	-54,10	-55,80	-81,75	-58,20	-58,60
2121	-54,56	-56,24	-82,11	-58,61	-59,01
2122	-55,01	-56,68	-82,46	-59,02	-59,42
2123	-55,46	-57,11	-82,81	-59,43	-59,82
2124	-55,90	-57,53	-83,15	-59,83	-60,22
2125	-56,34	-57,96	-83,48	-60,23	-60,62
2126	-56,77	-58,37	-83,81	-60,63	-61,01
2127	-57,20	-58,79	-84,13	-61,02	-61,40
2128	-57,63	-59,20	-84,45	-61,41	-61,78
2129	-58,05	-59,60	-84,75	-61,79	-62,16
2130	-58,47	-60,01	-85,06	-62,17	-62,54
2131	-58,88	-60,40	-85,35	-62,55	-62,91
2132	-59,29	-60,80	-85,64	-62,92	-63,28
2133	-59,70	-61,19	-85,93	-63,29	-63,64
2134	-60,10	-61,57	-86,21	-63,66	-64,01
2135	-60,49	-61,96	-86,48	-64,02	-64,36
2136	-60,89	-62,34	-86,75	-64,38	-64,72
2137	-61,28	-62,71	-87,01	-64,73	-65,07
2138	-61,66	-63,08	-87,27	-65,08	-65,42
2139	-62,04	-63,45	-87,52	-65,43	-65,76
2140	-62,42	-63,81	-87,77	-65,77	-66,10
2141	-62,80	-64,17	-88,01	-66,11	-66,44
2142	-63,17	-64,53	-88,24	-66,45	-66,77
2143	-63,53	-64,88	-88,48	-66,78	-67,10

**TABELA 21 (continuação)**  
**Varição da produção de metano em função de k**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	25,00	20,00	33,33	12,50	11,11
2144	-63,90	-65,23	-88,71	-67,12	-67,43
2145	-64,25	-65,58	-88,93	-67,44	-67,76
2146	-64,61	-65,92	-89,15	-67,77	-68,08
2147	-64,96	-66,26	-89,36	-68,09	-68,39
2148	-65,31	-66,59	-89,57	-68,40	-68,71

**ANEXO F**

**TABELA 22 – Variação da produção de metano em função de  $L_0$**

**TABELA 22 – Variação da produção de metano em função de  $L_0$** 

		Variação de Produção de Metano (%)				
Variação de $L_0$ (%)		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
Ano						
2009		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2010		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2011		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2012		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2013		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2014		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2015		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2016		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2017		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2018		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2019		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2020		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2021		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2022		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2023		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2024		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2025		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2026		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2027		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2028		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2029		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2030		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2031		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2032		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2033		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2034		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2035		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2036		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2037		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2038		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2039		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2040		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2041		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2042		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2043		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2044		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2045		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2046		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2047		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2048		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2049		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2050		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2051		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2052		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2053		20,0	16,7	14,3	6,3	11,8

**TABELA 22 (continuação)**  
**Varição da produção de metano em função de L<sub>0</sub>**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2054	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2055	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2056	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2057	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2058	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2059	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2060	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2061	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2062	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2063	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2064	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2065	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2066	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2067	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2068	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2069	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2070	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2071	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2072	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2073	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2074	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2075	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2076	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2077	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2078	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2079	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2080	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2081	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2082	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2083	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2084	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2085	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2086	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2087	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2088	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2089	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2090	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2091	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2092	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2093	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2094	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2095	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2096	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2097	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2098	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8

**TABELA 22 (continuação)**  
**Variação da produção de metano em função de L<sub>0</sub>**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2099	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2100	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2101	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2102	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2103	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2104	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2105	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2106	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2107	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2108	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2109	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2110	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2111	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2112	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2113	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2114	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2115	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2116	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2117	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2118	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2119	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2120	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2121	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2122	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2123	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2124	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2125	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2126	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2127	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2128	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2129	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2130	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2131	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2132	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2133	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2134	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2135	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2136	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2137	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2138	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2139	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2140	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2141	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2142	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2143	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8

**TABELA 22 (continuação)**  
**Varição da produção de metano em função de L<sub>0</sub>**

Ano	Variação de Produção de Metano (%)				
	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2144	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2145	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2146	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2147	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8
2148	20,0	16,7	14,3	6,3	11,8

**ANEXO G*****TABELA 23 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 1***

**TABELA 23 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 1**

<b>Ano</b>	<b>Biogás (ton/ano)</b>	<b>Metano (ton/ano)</b>	<b>Dióxido de Carbono (ton/ano)</b>	<b>NMOC (ton/ano)</b>
2009	3,011E+02	8,042E+01	2,207E+02	3,457E+00
2010	5,936E+02	1,586E+02	4,350E+02	6,815E+00
2011	8,779E+02	2,345E+02	6,434E+02	1,008E+01
2012	1,154E+03	3,083E+02	8,458E+02	1,325E+01
2013	1,423E+03	3,800E+02	1,043E+03	1,633E+01
2014	1,684E+03	4,497E+02	1,234E+03	1,933E+01
2015	1,937E+03	5,175E+02	1,420E+03	2,224E+01
2016	2,184E+03	5,833E+02	1,601E+03	2,507E+01
2017	2,424E+03	6,474E+02	1,776E+03	2,783E+01
2018	2,657E+03	7,097E+02	1,947E+03	3,050E+01
2019	2,884E+03	7,703E+02	2,113E+03	3,311E+01
2020	3,104E+03	8,292E+02	2,275E+03	3,564E+01
2021	3,319E+03	8,865E+02	2,432E+03	3,811E+01
2022	3,528E+03	9,423E+02	2,585E+03	4,050E+01
2023	3,731E+03	9,966E+02	2,734E+03	4,284E+01
2024	3,929E+03	1,049E+03	2,879E+03	4,511E+01
2025	4,121E+03	1,101E+03	3,021E+03	4,732E+01
2026	4,309E+03	1,151E+03	3,158E+03	4,947E+01
2027	4,491E+03	1,200E+03	3,292E+03	5,157E+01
2028	4,669E+03	1,247E+03	3,422E+03	5,361E+01
2029	4,86E+03	1,198E+03	3,288E+03	5,150E+01
2030	4,310E+03	1,151E+03	3,159E+03	4,948E+01
2031	4,141E+03	1,106E+03	3,035E+03	4,754E+01
2032	3,979E+03	1,063E+03	2,916E+03	4,568E+01
2033	3,823E+03	1,021E+03	2,802E+03	4,389E+01
2034	3,673E+03	9,810E+02	2,692E+03	4,217E+01
2035	3,529E+03	9,426E+02	2,586E+03	4,051E+01
2036	3,390E+03	9,056E+02	2,485E+03	3,893E+01
2037	3,257E+03	8,701E+02	2,387E+03	3,740E+01
2038	3,130E+03	8,360E+02	2,294E+03	3,593E+01
2039	3,007E+03	8,032E+02	2,204E+03	3,452E+01
2040	2,889E+03	7,717E+02	2,117E+03	3,317E+01
2041	2,776E+03	7,415E+02	2,034E+03	3,187E+01
2042	2,667E+03	7,124E+02	1,955E+03	3,062E+01
2043	2,562E+03	6,845E+02	1,878E+03	2,942E+01
2044	2,462E+03	6,576E+02	1,804E+03	2,827E+01
2045	2,365E+03	6,318E+02	1,734E+03	2,716E+01
2046	2,273E+03	6,071E+02	1,666E+03	2,609E+01
2047	2,184E+03	5,833E+02	1,600E+03	2,507E+01
2048	2,098E+03	5,604E+02	1,538E+03	2,409E+01
2049	2,016E+03	5,384E+02	1,477E+03	2,314E+01
2050	1,937E+03	5,173E+02	1,419E+03	2,223E+01
2051	1,861E+03	4,970E+02	1,364E+03	2,136E+01
2052	1,788E+03	4,775E+02	1,310E+03	2,053E+01
2053	1,718E+03	4,588E+02	1,259E+03	1,972E+01
2054	1,650E+03	4,408E+02	1,209E+03	1,895E+01
2055	1,586E+03	4,235E+02	1,162E+03	1,820E+01

**TABELA 23 (continuação)**  
**Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 1**

<b>Ano</b>	<b>Biogás (ton/ano)</b>	<b>Metano (ton/ano)</b>	<b>Dióxido de Carbono (ton/ano)</b>	<b>NMOC (ton/ano)</b>
2056	1,523E+03	4,069E+02	1,116E+03	1,749E+01
2057	1,464E+03	3,910E+02	1,073E+03	1,680E+01
2058	1,406E+03	3,756E+02	1,031E+03	1,615E+01
2059	1,351E+03	3,609E+02	9,902E+02	1,551E+01
2060	1,298E+03	3,468E+02	9,514E+02	1,490E+01
2061	1,247E+03	3,332E+02	9,141E+02	1,432E+01
2062	1,198E+03	3,201E+02	8,783E+02	1,376E+01
2063	1,151E+03	3,075E+02	8,438E+02	1,322E+01
2064	1,106E+03	2,955E+02	8,107E+02	1,270E+01
2065	1,063E+03	2,839E+02	7,790E+02	1,220E+01
2066	1,021E+03	2,728E+02	7,484E+02	1,172E+01
2067	9,811E+02	2,621E+02	7,191E+02	1,126E+01
2068	9,427E+02	2,518E+02	6,909E+02	1,082E+01
2069	9,057E+02	2,419E+02	6,638E+02	1,040E+01
2070	8,702E+02	2,324E+02	6,378E+02	9,991E+00
2071	8,361E+02	2,233E+02	6,127E+02	9,599E+00
2072	8,033E+02	2,146E+02	5,887E+02	9,223E+00
2073	7,718E+02	2,062E+02	5,656E+02	8,861E+00
2074	7,415E+02	1,981E+02	5,435E+02	8,514E+00
2075	7,124E+02	1,903E+02	5,221E+02	8,180E+00
2076	6,845E+02	1,828E+02	5,017E+02	7,859E+00
2077	6,577E+02	1,757E+02	4,820E+02	7,551E+00
2078	6,319E+02	1,688E+02	4,631E+02	7,255E+00
2079	6,071E+02	1,622E+02	4,449E+02	6,970E+00
2080	5,833E+02	1,558E+02	4,275E+02	6,697E+00
2081	5,604E+02	1,497E+02	4,107E+02	6,434E+00
2082	5,385E+02	1,438E+02	3,946E+02	6,182E+00
2083	5,173E+02	1,382E+02	3,792E+02	5,940E+00
2084	4,971E+02	1,328E+02	3,643E+02	5,707E+00
2085	4,776E+02	1,276E+02	3,500E+02	5,483E+00
2086	4,588E+02	1,226E+02	3,363E+02	5,268E+00
2087	4,409E+02	1,178E+02	3,231E+02	5,061E+00
2088	4,236E+02	1,131E+02	3,104E+02	4,863E+00
2089	4,070E+02	1,087E+02	2,983E+02	4,672E+00
2090	3,910E+02	1,044E+02	2,866E+02	4,489E+00
2091	3,757E+02	1,003E+02	2,753E+02	4,313E+00
2092	3,609E+02	9,641E+01	2,645E+02	4,144E+00
2093	3,468E+02	9,263E+01	2,542E+02	3,981E+00
2094	3,332E+02	8,900E+01	2,442E+02	3,825E+00
2095	3,201E+02	8,551E+01	2,346E+02	3,675E+00
2096	3,076E+02	8,216E+01	2,254E+02	3,531E+00
2097	2,955E+02	7,893E+01	2,166E+02	3,393E+00
2098	2,839E+02	7,584E+01	2,081E+02	3,260E+00
2099	2,728E+02	7,287E+01	1,999E+02	3,132E+00
2100	2,621E+02	7,001E+01	1,921E+02	3,009E+00

**ANEXO H****TABELA 24 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 2**

**TABELA 24 – Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 2**

<b>Ano</b>	<b>Biogás ton/ano</b>	<b>Metano ton/ano</b>	<b>Dióxido de Carbono ton/ano</b>	<b>NMOC ton/ano</b>
2009	7,572E+02	2,023E+02	5,549E+02	8,693E+00
2010	1,457E+03	3,893E+02	1,068E+03	1,673E+01
2011	2,105E+03	5,624E+02	1,543E+03	2,417E+01
2012	2,705E+03	7,226E+02	1,983E+03	3,106E+01
2013	3,262E+03	8,712E+02	2,390E+03	3,745E+01
2014	3,777E+03	1,009E+03	2,768E+03	4,337E+01
2015	4,256E+03	1,137E+03	3,119E+03	4,887E+01
2016	4,701E+03	1,256E+03	3,446E+03	5,398E+01
2017	5,115E+03	1,366E+03	3,749E+03	5,873E+01
2018	5,500E+03	1,469E+03	4,031E+03	6,315E+01
2019	5,859E+03	1,565E+03	4,294E+03	6,727E+01
2020	6,194E+03	1,655E+03	4,540E+03	7,112E+01
2021	6,507E+03	1,738E+03	4,769E+03	7,471E+01
2022	6,799E+03	1,816E+03	4,983E+03	7,807E+01
2023	7,073E+03	1,889E+03	5,184E+03	8,121E+01
2024	7,330E+03	1,958E+03	5,372E+03	8,415E+01
2025	7,571E+03	2,022E+03	5,548E+03	8,692E+01
2026	7,797E+03	2,083E+03	5,714E+03	8,952E+01
2027	8,010E+03	2,139E+03	5,870E+03	9,196E+01
2028	8,210E+03	2,193E+03	6,017E+03	9,426E+01
2029	7,503E+03	2,004E+03	5,499E+03	8,615E+01
2030	6,858E+03	1,832E+03	5,026E+03	7,873E+01
2031	6,267E+03	1,674E+03	4,593E+03	7,196E+01
2032	5,728E+03	1,530E+03	4,198E+03	6,576E+01
2033	5,235E+03	1,398E+03	3,837E+03	6,010E+01
2034	4,784E+03	1,278E+03	3,506E+03	5,493E+01
2035	4,373E+03	1,168E+03	3,205E+03	5,020E+01
2036	3,996E+03	1,067E+03	2,929E+03	4,588E+01
2037	3,652E+03	9,756E+02	2,677E+03	4,193E+01
2038	3,338E+03	8,916E+02	2,446E+03	3,832E+01
2039	3,051E+03	8,149E+02	2,236E+03	3,502E+01
2040	2,788E+03	7,447E+02	2,043E+03	3,201E+01
2041	2,548E+03	6,806E+02	1,867E+03	2,926E+01
2042	2,329E+03	6,221E+02	1,707E+03	2,674E+01
2043	2,128E+03	5,685E+02	1,560E+03	2,444E+01
2044	1,945E+03	5,196E+02	1,426E+03	2,233E+01
2045	1,778E+03	4,749E+02	1,303E+03	2,041E+01
2046	1,625E+03	4,340E+02	1,191E+03	1,865E+01
2047	1,485E+03	3,966E+02	1,088E+03	1,705E+01
2048	1,357E+03	3,625E+02	9,946E+02	1,558E+01
2049	1,240E+03	3,313E+02	9,090E+02	1,424E+01
2050	1,134E+03	3,028E+02	8,308E+02	1,301E+01
2051	1,036E+03	2,767E+02	7,593E+02	1,189E+01
2052	9,468E+02	2,529E+02	6,939E+02	1,087E+01
2053	8,653E+02	2,311E+02	6,342E+02	9,935E+00
2054	7,909E+02	2,112E+02	5,796E+02	9,080E+00
2055	7,228E+02	1,931E+02	5,297E+02	8,298E+00

**TABELA 24 (continuação)**  
**Total de emissões de gases para a Hipótese 1 – CEN 2**

<b>Ano</b>	<b>Biogás ton/ano</b>	<b>Metano ton/ano</b>	<b>Dióxido de Carbono ton/ano</b>	<b>NMOC ton/ano</b>
2056	6,606E+02	1,764E+02	4,841E+02	7,584E+00
2057	6,037E+02	1,613E+02	4,425E+02	6,931E+00
2058	5,518E+02	1,474E+02	4,044E+02	6,335E+00
2059	5,043E+02	1,347E+02	3,696E+02	5,790E+00
2060	4,609E+02	1,231E+02	3,378E+02	5,291E+00
2061	4,212E+02	1,125E+02	3,087E+02	4,836E+00
2062	3,850E+02	1,028E+02	2,821E+02	4,420E+00
2063	3,518E+02	9,397E+01	2,578E+02	4,039E+00
2064	3,215E+02	8,589E+01	2,357E+02	3,692E+00
2065	2,939E+02	7,849E+01	2,154E+02	3,374E+00
2066	2,686E+02	7,174E+01	1,968E+02	3,083E+00
2067	2,455E+02	6,556E+01	1,799E+02	2,818E+00
2068	2,243E+02	5,992E+01	1,644E+02	2,576E+00
2069	2,050E+02	5,476E+01	1,503E+02	2,354E+00
2070	1,874E+02	5,005E+01	1,373E+02	2,151E+00
2071	1,712E+02	4,574E+01	1,255E+02	1,966E+00
2072	1,565E+02	4,181E+01	1,147E+02	1,797E+00
2073	1,430E+02	3,821E+01	1,048E+02	1,642E+00
2074	1,307E+02	3,492E+01	9,581E+01	1,501E+00
2075	1,195E+02	3,191E+01	8,756E+01	1,372E+00
2076	1,092E+02	2,917E+01	8,003E+01	1,254E+00
2077	9,979E+01	2,666E+01	7,314E+01	1,146E+00
2078	9,121E+01	2,436E+01	6,684E+01	1,047E+00
2079	8,336E+01	2,227E+01	6,109E+01	9,570E-01
2080	7,618E+01	2,035E+01	5,583E+01	8,746E-01
2081	6,962E+01	1,860E+01	5,103E+01	7,994E-01
2082	6,363E+01	1,700E+01	4,664E+01	7,306E-01
2083	5,816E+01	1,553E+01	4,262E+01	6,677E-01
2084	5,315E+01	1,420E+01	3,895E+01	6,102E-01
2085	4,858E+01	1,297E+01	3,560E+01	5,577E-01
2086	4,439E+01	1,186E+01	3,254E+01	5,097E-01
2087	4,057E+01	1,084E+01	2,974E+01	4,658E-01
2088	3,708E+01	9,905E+00	2,718E+01	4,257E-01
2089	3,389E+01	9,052E+00	2,484E+01	3,891E-01
2090	3,097E+01	8,273E+00	2,270E+01	3,556E-01
2091	2,831E+01	7,561E+00	2,075E+01	3,250E-01
2092	2,587E+01	6,910E+00	1,896E+01	2,970E-01
2093	2,364E+01	6,316E+00	1,733E+01	2,715E-01
2094	2,161E+01	5,772E+00	1,584E+01	2,481E-01
2095	1,975E+01	5,275E+00	1,447E+01	2,267E-01
2096	1,805E+01	4,821E+00	1,323E+01	2,072E-01
2097	1,650E+01	4,406E+00	1,209E+01	1,894E-01
2098	1,508E+01	4,027E+00	1,105E+01	1,731E-01
2099	1,378E+01	3,680E+00	1,010E+01	1,582E-01
2100	1,259E+01	3,364E+00	9,229E+00	1,446E-01

**ANEXO I****TABELA 25 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 1**

**TABELA 25 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 1**

<b>Ano</b>	<b>Biogás (ton/ano)</b>	<b>Metano (ton/ano)</b>	<b>Dióxido de Carbono (ton/ano)</b>	<b>NMOC (ton/ano)</b>
2009	1,927E+02	5,147E+01	1,412E+02	2,212E+00
2010	3,741E+02	9,992E+01	2,741E+02	4,295E+00
2011	5,446E+02	1,455E+02	3,991E+02	6,252E+00
2012	7,047E+02	1,882E+02	5,165E+02	8,091E+00
2013	8,548E+02	2,283E+02	6,265E+02	9,814E+00
2014	9,954E+02	2,659E+02	7,295E+02	1,143E+01
2015	1,127E+03	3,010E+02	8,258E+02	1,294E+01
2016	1,249E+03	3,337E+02	9,157E+02	1,434E+01
2017	1,364E+03	3,643E+02	9,994E+02	1,566E+01
2018	1,470E+03	3,926E+02	1,077E+03	1,688E+01
2019	1,568E+03	4,190E+02	1,150E+03	1,801E+01
2020	1,660E+03	4,433E+02	1,216E+03	1,906E+01
2021	1,744E+03	4,658E+02	1,278E+03	2,002E+01
2022	1,822E+03	4,866E+02	1,335E+03	2,091E+01
2023	1,893E+03	5,056E+02	1,387E+03	2,173E+01
2024	1,958E+03	5,230E+02	1,435E+03	2,248E+01
2025	2,018E+03	5,389E+02	1,479E+03	2,316E+01
2026	2,072E+03	5,534E+02	1,518E+03	2,378E+01
2027	2,120E+03	5,664E+02	1,554E+03	2,434E+01
2028	2,164E+03	5,781E+02	1,586E+03	2,485E+01
2029	2,079E+03	5,554E+02	1,524E+03	2,387E+01
2030	1,998E+03	5,336E+02	1,464E+03	2,294E+01
2031	1,919E+03	5,127E+02	1,407E+03	2,204E+01
2032	1,844E+03	4,926E+02	1,352E+03	2,117E+01
2033	1,772E+03	4,733E+02	1,299E+03	2,034E+01
2034	1,702E+03	4,547E+02	1,248E+03	1,955E+01
2035	1,636E+03	4,369E+02	1,199E+03	1,878E+01
2036	1,572E+03	4,198E+02	1,152E+03	1,804E+01
2037	1,510E+03	4,033E+02	1,107E+03	1,734E+01
2038	1,451E+03	3,875E+02	1,063E+03	1,666E+01
2039	1,394E+03	3,723E+02	1,022E+03	1,600E+01
2040	1,339E+03	3,577E+02	9,815E+02	1,538E+01
2041	1,287E+03	3,437E+02	9,430E+02	1,477E+01
2042	1,236E+03	3,302E+02	9,060E+02	1,419E+01
2043	1,188E+03	3,173E+02	8,705E+02	1,364E+01
2044	1,141E+03	3,048E+02	8,363E+02	1,310E+01
2045	1,096E+03	2,929E+02	8,036E+02	1,259E+01
2046	1,053E+03	2,814E+02	7,720E+02	1,209E+01
2047	1,012E+03	2,703E+02	7,418E+02	1,162E+01
2048	9,724E+02	2,597E+02	7,127E+02	1,116E+01
2049	9,343E+02	2,496E+02	6,847E+02	1,073E+01
2050	8,977E+02	2,398E+02	6,579E+02	1,031E+01
2051	8,625E+02	2,304E+02	6,321E+02	9,902E+00
2052	8,287E+02	2,213E+02	6,073E+02	9,514E+00
2053	7,962E+02	2,127E+02	5,835E+02	9,141E+00
2054	7,649E+02	2,043E+02	5,606E+02	8,782E+00
2055	7,350E+02	1,963E+02	5,386E+02	8,438E+00

**TABELA 25 (continuação)**  
**Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 1**

<b>Ano</b>	<b>Biogás ton/ano</b>	<b>Metano ton/ano</b>	<b>Dióxido de Carbono ton/ano</b>	<b>NMOC ton/ano</b>
2056	7,061E+02	1,886E+02	5,175E+02	8,107E+00
2057	6,784E+02	1,812E+02	4,972E+02	7,789E+00
2058	6,518E+02	1,741E+02	4,777E+02	7,484E+00
2059	6,263E+02	1,673E+02	4,590E+02	7,190E+00
2060	6,017E+02	1,607E+02	4,410E+02	6,909E+00
2061	5,781E+02	1,544E+02	4,237E+02	6,638E+00
2062	5,555E+02	1,484E+02	4,071E+02	6,377E+00
2063	5,337E+02	1,426E+02	3,911E+02	6,127E+00
2064	5,128E+02	1,370E+02	3,758E+02	5,887E+00
2065	4,927E+02	1,316E+02	3,611E+02	5,656E+00
2066	4,733E+02	1,264E+02	3,469E+02	5,434E+00
2067	4,548E+02	1,215E+02	3,333E+02	5,221E+00
2068	4,369E+02	1,167E+02	3,202E+02	5,017E+00
2069	4,198E+02	1,121E+02	3,077E+02	4,820E+00
2070	4,034E+02	1,077E+02	2,956E+02	4,631E+00
2071	3,875E+02	1,035E+02	2,840E+02	4,449E+00
2072	3,723E+02	9,946E+01	2,729E+02	4,275E+00
2073	3,577E+02	9,556E+01	2,622E+02	4,107E+00
2074	3,437E+02	9,181E+01	2,519E+02	3,946E+00
2075	3,302E+02	8,821E+01	2,420E+02	3,791E+00
2076	3,173E+02	8,475E+01	2,325E+02	3,643E+00
2077	3,048E+02	8,143E+01	2,234E+02	3,500E+00
2078	2,929E+02	7,823E+01	2,147E+02	3,363E+00
2079	2,814E+02	7,517E+01	2,062E+02	3,231E+00
2080	2,704E+02	7,222E+01	1,982E+02	3,104E+00
2081	2,598E+02	6,939E+01	1,904E+02	2,982E+00
2082	2,496E+02	6,667E+01	1,829E+02	2,866E+00
2083	2,398E+02	6,405E+01	1,757E+02	2,753E+00
2084	2,304E+02	6,154E+01	1,689E+02	2,645E+00
2085	2,214E+02	5,913E+01	1,622E+02	2,541E+00
2086	2,127E+02	5,681E+01	1,559E+02	2,442E+00
2087	2,043E+02	5,458E+01	1,498E+02	2,346E+00
2088	1,963E+02	5,244E+01	1,439E+02	2,254E+00
2089	1,886E+02	5,039E+01	1,382E+02	2,166E+00
2090	1,812E+02	4,841E+01	1,328E+02	2,081E+00
2091	1,741E+02	4,651E+01	1,276E+02	1,999E+00
2092	1,673E+02	4,469E+01	1,226E+02	1,921E+00
2093	1,607E+02	4,294E+01	1,178E+02	1,846E+00
2094	1,544E+02	4,125E+01	1,132E+02	1,773E+00
2095	1,484E+02	3,964E+01	1,087E+02	1,704E+00
2096	1,426E+02	3,808E+01	1,045E+02	1,637E+00
2097	1,370E+02	3,659E+01	1,004E+02	1,573E+00
2098	1,316E+02	3,515E+01	9,645E+01	1,511E+00
2099	1,264E+02	3,377E+01	9,267E+01	1,452E+00
2100	1,215E+02	3,245E+01	8,904E+01	1,395E+00

**ANEXO J****TABELA 26 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 2**

**TABELA 26 – Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 2**

<b>Ano</b>	<b>Biogás (ton/ano)</b>	<b>Metano (ton/ano)</b>	<b>Dióxido de Carbono (ton/ano)</b>	<b>NMOC (ton/ano)</b>
2009	4,846E+02	1,294E+02	3,552E+02	5,564E+00
2010	9,180E+02	2,452E+02	6,728E+02	1,054E+01
2011	1,305E+03	3,485E+02	9,562E+02	1,498E+01
2012	1,649E+03	4,404E+02	1,208E+03	1,893E+01
2013	1,954E+03	5,219E+02	1,432E+03	2,243E+01
2014	2,224E+03	5,939E+02	1,630E+03	2,553E+01
2015	2,461E+03	6,573E+02	1,803E+03	2,825E+01
2016	2,669E+03	7,128E+02	1,956E+03	3,064E+01
2017	2,849E+03	7,611E+02	2,088E+03	3,271E+01
2018	3,006E+03	8,029E+02	2,203E+03	3,451E+01
2019	3,140E+03	8,387E+02	2,301E+03	3,605E+01
2020	3,254E+03	8,691E+02	2,385E+03	3,736E+01
2021	3,349E+03	8,947E+02	2,455E+03	3,846E+01
2022	3,428E+03	9,157E+02	2,513E+03	3,936E+01
2023	3,492E+03	9,328E+02	2,559E+03	4,009E+01
2024	3,542E+03	9,462E+02	2,596E+03	4,067E+01
2025	3,580E+03	9,563E+02	2,624E+03	4,110E+01
2026	3,607E+03	9,634E+02	2,643E+03	4,141E+01
2027	3,623E+03	9,678E+02	2,655E+03	4,160E+01
2028	3,631E+03	9,698E+02	2,661E+03	4,168E+01
2029	3,318E+03	8,863E+02	2,432E+03	3,810E+01
2030	3,033E+03	8,100E+02	2,223E+03	3,482E+01
2031	2,772E+03	7,403E+02	2,031E+03	3,182E+01
2032	2,533E+03	6,766E+02	1,856E+03	2,908E+01
2033	2,315E+03	6,184E+02	1,697E+03	2,658E+01
2034	2,116E+03	5,651E+02	1,551E+03	2,429E+01
2035	1,934E+03	5,165E+02	1,417E+03	2,220E+01
2036	1,767E+03	4,720E+02	1,295E+03	2,029E+01
2037	1,615E+03	4,314E+02	1,184E+03	1,854E+01
2038	1,476E+03	3,943E+02	1,082E+03	1,695E+01
2039	1,349E+03	3,603E+02	9,887E+02	1,549E+01
2040	1,233E+03	3,293E+02	9,036E+02	1,416E+01
2041	1,127E+03	3,010E+02	8,258E+02	1,294E+01
2042	1,030E+03	2,751E+02	7,548E+02	1,182E+01
2043	9,412E+02	2,514E+02	6,898E+02	1,081E+01
2044	8,602E+02	2,298E+02	6,304E+02	9,876E+00
2045	7,862E+02	2,100E+02	5,762E+02	9,026E+00
2046	7,185E+02	1,919E+02	5,266E+02	8,249E+00
2047	6,567E+02	1,754E+02	4,813E+02	7,539E+00
2048	6,001E+02	1,603E+02	4,398E+02	6,890E+00
2049	5,485E+02	1,465E+02	4,020E+02	6,297E+00
2050	5,013E+02	1,339E+02	3,674E+02	5,755E+00
2051	4,581E+02	1,224E+02	3,358E+02	5,260E+00
2052	4,187E+02	1,118E+02	3,069E+02	4,807E+00
2053	3,827E+02	1,022E+02	2,805E+02	4,393E+00
2054	3,497E+02	9,342E+01	2,563E+02	4,015E+00
2055	3,196E+02	8,538E+01	2,343E+02	3,670E+00

**TABELA 26 (continuação)**  
**Total de emissões de gases para a Hipótese 2 – CEN 2**

<b>Ano</b>	<b>Biogás ton/ano</b>	<b>Metano ton/ano</b>	<b>Dióxido de Carbono ton/ano</b>	<b>NMOC ton/ano</b>
2056	2,921E+02	7,803E+01	2,141E+02	3,354E+00
2057	2,670E+02	7,131E+01	1,957E+02	3,065E+00
2058	2,440E+02	6,517E+01	1,788E+02	2,801E+00
2059	2,230E+02	5,957E+01	1,634E+02	2,560E+00
2060	2,038E+02	5,444E+01	1,494E+02	2,340E+00
2061	1,863E+02	4,975E+01	1,365E+02	2,139E+00
2062	1,702E+02	4,547E+01	1,248E+02	1,954E+00
2063	1,556E+02	4,156E+01	1,140E+02	1,786E+00
2064	1,422E+02	3,798E+01	1,042E+02	1,632E+00
2065	1,300E+02	3,471E+01	9,524E+01	1,492E+00
2066	1,188E+02	3,172E+01	8,704E+01	1,364E+00
2067	1,085E+02	2,899E+01	7,955E+01	1,246E+00
2068	9,920E+01	2,650E+01	7,270E+01	1,139E+00
2069	9,066E+01	2,422E+01	6,645E+01	1,041E+00
2070	8,286E+01	2,213E+01	6,073E+01	9,513E-01
2071	7,573E+01	2,023E+01	5,550E+01	8,695E-01
2072	6,921E+01	1,849E+01	5,072E+01	7,946E-01
2073	6,325E+01	1,690E+01	4,636E+01	7,262E-01
2074	5,781E+01	1,544E+01	4,237E+01	6,637E-01
2075	5,283E+01	1,411E+01	3,872E+01	6,066E-01
2076	4,829E+01	1,290E+01	3,539E+01	5,544E-01
2077	4,413E+01	1,179E+01	3,234E+01	5,067E-01
2078	4,033E+01	1,077E+01	2,956E+01	4,631E-01
2079	3,686E+01	9,846E+00	2,702E+01	4,232E-01
2080	3,369E+01	8,999E+00	2,469E+01	3,868E-01
2081	3,079E+01	8,224E+00	2,257E+01	3,535E-01
2082	2,814E+01	7,516E+00	2,062E+01	3,231E-01
2083	2,572E+01	6,869E+00	1,885E+01	2,953E-01
2084	2,350E+01	6,278E+00	1,723E+01	2,698E-01
2085	2,148E+01	5,738E+00	1,574E+01	2,466E-01
2086	1,963E+01	5,244E+00	1,439E+01	2,254E-01
2087	1,794E+01	4,793E+00	1,315E+01	2,060E-01
2088	1,640E+01	4,380E+00	1,202E+01	1,883E-01
2089	1,499E+01	4,003E+00	1,098E+01	1,721E-01
2090	1,370E+01	3,659E+00	1,004E+01	1,573E-01
2091	1,252E+01	3,344E+00	9,174E+00	1,437E-01
2092	1,144E+01	3,056E+00	8,385E+00	1,313E-01
2093	1,046E+01	2,793E+00	7,663E+00	1,200E-01
2094	9,556E+00	2,552E+00	7,003E+00	1,097E-01
2095	8,733E+00	2,333E+00	6,401E+00	1,003E-01
2096	7,982E+00	2,132E+00	5,850E+00	9,164E-02
2097	7,295E+00	1,949E+00	5,346E+00	8,375E-02
2098	6,667E+00	1,781E+00	4,886E+00	7,654E-02
2099	6,093E+00	1,628E+00	4,466E+00	6,996E-02
2100	5,569E+00	1,487E+00	4,081E+00	6,393E-02

**ANEXO L**

***TABELA 27 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 1***

**TABELA 27 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 1**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m <sup>3</sup> /ano)	Considerando a Efic. de Captação (m <sup>3</sup> /ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2009	1,205E+05	9,64E+04	1,01E+06	2,43E+05	2,03E+04	28,13	0,03
2010	2,377E+05	1,90E+05	2,00E+06	4,79E+05	3,99E+04	55,46	0,06
2011	3,515E+05	2,81E+05	2,95E+06	7,09E+05	5,90E+04	82,01	0,08
2012	4,621E+05	3,70E+05	3,88E+06	9,32E+05	7,76E+04	107,82	0,11
2013	5,696E+05	4,56E+05	4,78E+06	1,15E+06	9,57E+04	132,90	0,13
2014	6,740E+05	5,39E+05	5,66E+06	1,36E+06	1,13E+05	157,28	0,16
2015	7,756E+05	6,20E+05	6,52E+06	1,56E+06	1,30E+05	180,98	0,18
2016	8,744E+05	6,99E+05	7,34E+06	1,76E+06	1,47E+05	204,02	0,20
2017	9,704E+05	7,76E+05	8,15E+06	1,96E+06	1,63E+05	226,42	0,23
2018	1,064E+06	8,51E+05	8,94E+06	2,14E+06	1,79E+05	248,21	0,25
2019	1,155E+06	9,24E+05	9,70E+06	2,33E+06	1,94E+05	269,40	0,27
2020	1,243E+06	9,94E+05	1,04E+07	2,51E+06	2,09E+05	290,01	0,29
2021	1,329E+06	1,06E+06	1,12E+07	2,68E+06	2,23E+05	310,06	0,31
2022	1,412E+06	1,13E+06	1,19E+07	2,85E+06	2,37E+05	329,57	0,33
2023	1,494E+06	1,20E+06	1,25E+07	3,01E+06	2,51E+05	348,56	0,35
2024	1,573E+06	1,26E+06	1,32E+07	3,17E+06	2,64E+05	367,04	0,37
2025	1,650E+06	1,32E+06	1,39E+07	3,33E+06	2,77E+05	385,02	0,39
2026	1,725E+06	1,38E+06	1,45E+07	3,48E+06	2,90E+05	402,54	0,40
2027	1,798E+06	1,44E+06	1,51E+07	3,63E+06	3,02E+05	419,59	0,42
2028	1,869E+06	1,50E+06	1,57E+07	3,77E+06	3,14E+05	436,19	0,44
2029	1,796E+06	1,44E+06	1,51E+07	3,62E+06	3,02E+05	419,08	0,42
2030	1,726E+06	1,38E+06	1,45E+07	3,48E+06	2,90E+05	402,65	0,40
2031	1,658E+06	1,33E+06	1,39E+07	3,34E+06	2,79E+05	386,86	0,39
2032	1,593E+06	1,27E+06	1,34E+07	3,21E+06	2,68E+05	371,69	0,37
2033	1,531E+06	1,22E+06	1,29E+07	3,09E+06	2,57E+05	357,12	0,36
2034	1,471E+06	1,18E+06	1,24E+07	2,96E+06	2,47E+05	343,12	0,34
2035	1,413E+06	1,13E+06	1,19E+07	2,85E+06	2,37E+05	329,66	0,33
2036	1,357E+06	1,09E+06	1,14E+07	2,74E+06	2,28E+05	316,74	0,32
2037	1,304E+06	1,04E+06	1,10E+07	2,63E+06	2,19E+05	304,32	0,30
2038	1,253E+06	1,00E+06	1,05E+07	2,53E+06	2,11E+05	292,39	0,29
2039	1,204E+06	9,63E+05	1,01E+07	2,43E+06	2,02E+05	280,92	0,28
2040	1,157E+06	9,25E+05	9,72E+06	2,33E+06	1,94E+05	269,91	0,27
2041	1,111E+06	8,89E+05	9,34E+06	2,24E+06	1,87E+05	259,32	0,26
2042	1,068E+06	8,54E+05	8,97E+06	2,15E+06	1,79E+05	249,15	0,25
2043	1,026E+06	8,21E+05	8,62E+06	2,07E+06	1,72E+05	239,38	0,24
2044	9,857E+05	7,89E+05	8,28E+06	1,99E+06	1,66E+05	230,00	0,23
2045	9,471E+05	7,58E+05	7,96E+06	1,91E+06	1,59E+05	220,98	0,22
2046	9,099E+05	7,28E+05	7,64E+06	1,83E+06	1,53E+05	212,32	0,21
2047	8,742E+05	6,99E+05	7,34E+06	1,76E+06	1,47E+05	203,99	0,20
2048	8,400E+05	6,72E+05	7,06E+06	1,69E+06	1,41E+05	195,99	0,20
2049	8,070E+05	6,46E+05	6,78E+06	1,63E+06	1,36E+05	188,31	0,19
2050	7,754E+05	6,20E+05	6,51E+06	1,56E+06	1,30E+05	180,92	0,18
2051	7,450E+05	5,96E+05	6,26E+06	1,50E+06	1,25E+05	173,83	0,17
2052	7,158E+05	5,73E+05	6,01E+06	1,44E+06	1,20E+05	167,01	0,17
2053	6,877E+05	5,50E+05	5,78E+06	1,39E+06	1,16E+05	160,46	0,16
2054	6,607E+05	5,29E+05	5,55E+06	1,33E+06	1,11E+05	154,17	0,15
2055	6,348E+05	5,08E+05	5,33E+06	1,28E+06	1,07E+05	148,13	0,15
2056	6,099E+05	4,88E+05	5,12E+06	1,23E+06	1,02E+05	142,32	0,14

**TABELA 27 (continuação)**  
**Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano**  
**para a Hipótese 1 – CEN 1**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m <sup>3</sup> /ano)	Considerando a Efic. de Captação (m <sup>3</sup> /ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2057	5,860E+05	4,69E+05	4,92E+06	1,18E+06	9,85E+04	136,74	0,14
2058	5,630E+05	4,50E+05	4,73E+06	1,14E+06	9,46E+04	131,38	0,13
2059	5,410E+05	4,33E+05	4,54E+06	1,09E+06	9,09E+04	126,23	0,13
2060	5,198E+05	4,16E+05	4,37E+06	1,05E+06	8,73E+04	121,28	0,12
2061	4,994E+05	4,00E+05	4,19E+06	1,01E+06	8,39E+04	116,52	0,12
2062	4,798E+05	3,84E+05	4,03E+06	9,67E+05	8,06E+04	111,95	0,11
2063	4,610E+05	3,69E+05	3,87E+06	9,29E+05	7,74E+04	107,56	0,11
2064	4,429E+05	3,54E+05	3,72E+06	8,93E+05	7,44E+04	103,34	0,10
2065	4,255E+05	3,40E+05	3,57E+06	8,58E+05	7,15E+04	99,29	0,10
2066	4,089E+05	3,27E+05	3,43E+06	8,24E+05	6,87E+04	95,40	0,10
2067	3,928E+05	3,14E+05	3,30E+06	7,92E+05	6,60E+04	91,66	0,09
2068	3,774E+05	3,02E+05	3,17E+06	7,61E+05	6,34E+04	88,06	0,09
2069	3,626E+05	2,90E+05	3,05E+06	7,31E+05	6,09E+04	84,61	0,08
2070	3,484E+05	2,79E+05	2,93E+06	7,02E+05	5,85E+04	81,29	0,08
2071	3,347E+05	2,68E+05	2,81E+06	6,75E+05	5,62E+04	78,11	0,08
2072	3,216E+05	2,57E+05	2,70E+06	6,48E+05	5,40E+04	75,04	0,08
2073	3,090E+05	2,47E+05	2,60E+06	6,23E+05	5,19E+04	72,10	0,07
2074	2,969E+05	2,38E+05	2,49E+06	5,99E+05	4,99E+04	69,27	0,07
2075	2,852E+05	2,28E+05	2,40E+06	5,75E+05	4,79E+04	66,56	0,07
2076	2,741E+05	2,19E+05	2,30E+06	5,53E+05	4,60E+04	63,95	0,06
2077	2,633E+05	2,11E+05	2,21E+06	5,31E+05	4,42E+04	61,44	0,06
2078	2,530E+05	2,02E+05	2,13E+06	5,10E+05	4,25E+04	59,03	0,06
2079	2,431E+05	1,94E+05	2,04E+06	4,90E+05	4,08E+04	56,72	0,06
2080	2,335E+05	1,87E+05	1,96E+06	4,71E+05	3,92E+04	54,49	0,05
2081	2,244E+05	1,80E+05	1,88E+06	4,52E+05	3,77E+04	52,36	0,05
2082	2,156E+05	1,72E+05	1,81E+06	4,35E+05	3,62E+04	50,30	0,05
2083	2,071E+05	1,66E+05	1,74E+06	4,18E+05	3,48E+04	48,33	0,05
2084	1,990E+05	1,59E+05	1,67E+06	4,01E+05	3,34E+04	46,44	0,05
2085	1,912E+05	1,53E+05	1,61E+06	3,85E+05	3,21E+04	44,62	0,04
2086	1,837E+05	1,47E+05	1,54E+06	3,70E+05	3,09E+04	42,87	0,04
2087	1,765E+05	1,41E+05	1,48E+06	3,56E+05	2,97E+04	41,18	0,04
2088	1,696E+05	1,36E+05	1,42E+06	3,42E+05	2,85E+04	39,57	0,04
2089	1,629E+05	1,30E+05	1,37E+06	3,28E+05	2,74E+04	38,02	0,04
2090	1,565E+05	1,25E+05	1,31E+06	3,16E+05	2,63E+04	36,53	0,04
2091	1,504E+05	1,20E+05	1,26E+06	3,03E+05	2,53E+04	35,10	0,04
2092	1,445E+05	1,16E+05	1,21E+06	2,91E+05	2,43E+04	33,72	0,03
2093	1,388E+05	1,11E+05	1,17E+06	2,80E+05	2,33E+04	32,40	0,03
2094	1,334E+05	1,07E+05	1,12E+06	2,69E+05	2,24E+04	31,13	0,03
2095	1,282E+05	1,03E+05	1,08E+06	2,58E+05	2,15E+04	29,91	0,03
2096	1,231E+05	9,85E+04	1,03E+06	2,48E+05	2,07E+04	28,73	0,03
2097	1,183E+05	9,47E+04	9,94E+05	2,39E+05	1,99E+04	27,61	0,03
2098	1,137E+05	9,09E+04	9,55E+05	2,29E+05	1,91E+04	26,52	0,03
2099	1,092E+05	8,74E+04	9,17E+05	2,20E+05	1,83E+04	25,48	0,03
2100	1,049E+05	8,39E+04	8,81E+05	2,12E+05	1,76E+04	24,49	0,02

**ANEXO M**

***TABELA 28 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 2***

**TABELA 28 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 1 – CEN 2**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m <sup>3</sup> /ano)	Considerando a Efic. de Captação (m <sup>3</sup> /ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2009	3,032E+05	2,43E+05	2,55E+06	6,11E+05	5,09E+04	70,74	0,07
2010	5,835E+05	4,67E+05	4,90E+06	1,18E+06	9,80E+04	136,15	0,14
2011	8,429E+05	6,74E+05	7,08E+06	1,70E+06	1,42E+05	196,68	0,20
2012	1,083E+06	8,67E+05	9,10E+06	2,18E+06	1,82E+05	252,74	0,25
2013	1,306E+06	1,04E+06	1,10E+07	2,63E+06	2,19E+05	304,70	0,30
2014	1,512E+06	1,21E+06	1,27E+07	3,05E+06	2,54E+05	352,89	0,35
2015	1,704E+06	1,36E+06	1,43E+07	3,44E+06	2,86E+05	397,63	0,40
2016	1,882E+06	1,51E+06	1,58E+07	3,79E+06	3,16E+05	439,20	0,44
2017	2,048E+06	1,64E+06	1,72E+07	4,13E+06	3,44E+05	477,86	0,48
2018	2,202E+06	1,76E+06	1,85E+07	4,44E+06	3,70E+05	513,85	0,51
2019	2,346E+06	1,88E+06	1,97E+07	4,73E+06	3,94E+05	547,39	0,55
2020	2,480E+06	1,98E+06	2,08E+07	5,00E+06	4,17E+05	578,67	0,58
2021	2,605E+06	2,08E+06	2,19E+07	5,25E+06	4,38E+05	607,89	0,61
2022	2,722E+06	2,18E+06	2,29E+07	5,49E+06	4,57E+05	635,21	0,64
2023	2,832E+06	2,27E+06	2,38E+07	5,71E+06	4,76E+05	660,79	0,66
2024	2,935E+06	2,35E+06	2,47E+07	5,92E+06	4,93E+05	684,76	0,68
2025	3,031E+06	2,42E+06	2,55E+07	6,11E+06	5,09E+05	707,25	0,71
2026	3,122E+06	2,50E+06	2,62E+07	6,29E+06	5,24E+05	728,39	0,73
2027	3,207E+06	2,57E+06	2,69E+07	6,47E+06	5,39E+05	748,27	0,75
2028	3,287E+06	2,63E+06	2,76E+07	6,63E+06	5,52E+05	766,99	0,77
2029	3,004E+06	2,40E+06	2,52E+07	6,06E+06	5,05E+05	700,98	0,70
2030	2,746E+06	2,20E+06	2,31E+07	5,54E+06	4,61E+05	640,65	0,64
2031	2,509E+06	2,01E+06	2,11E+07	5,06E+06	4,22E+05	585,51	0,59
2032	2,293E+06	1,83E+06	1,93E+07	4,62E+06	3,85E+05	535,11	0,54
2033	2,096E+06	1,68E+06	1,76E+07	4,23E+06	3,52E+05	489,06	0,49
2034	1,916E+06	1,53E+06	1,61E+07	3,86E+06	3,22E+05	446,96	0,45
2035	1,751E+06	1,40E+06	1,47E+07	3,53E+06	2,94E+05	408,49	0,41
2036	1,600E+06	1,28E+06	1,34E+07	3,23E+06	2,69E+05	373,34	0,37
2037	1,462E+06	1,17E+06	1,23E+07	2,95E+06	2,46E+05	341,20	0,34
2038	1,336E+06	1,07E+06	1,12E+07	2,69E+06	2,25E+05	311,84	0,31
2039	1,221E+06	9,77E+05	1,03E+07	2,46E+06	2,05E+05	285,00	0,28
2040	1,116E+06	8,93E+05	9,38E+06	2,25E+06	1,88E+05	260,47	0,26
2041	1,020E+06	8,16E+05	8,57E+06	2,06E+06	1,71E+05	238,05	0,24
2042	9,324E+05	7,46E+05	7,83E+06	1,88E+06	1,57E+05	217,56	0,22
2043	8,522E+05	6,82E+05	7,16E+06	1,72E+06	1,43E+05	198,84	0,20
2044	7,788E+05	6,23E+05	6,54E+06	1,57E+06	1,31E+05	181,72	0,18
2045	7,118E+05	5,69E+05	5,98E+06	1,43E+06	1,20E+05	166,08	0,17
2046	6,505E+05	5,20E+05	5,46E+06	1,31E+06	1,09E+05	151,79	0,15
2047	5,945E+05	4,76E+05	4,99E+06	1,20E+06	9,99E+04	138,72	0,14
2048	5,434E+05	4,35E+05	4,56E+06	1,10E+06	9,13E+04	126,78	0,13
2049	4,966E+05	3,97E+05	4,17E+06	1,00E+06	8,34E+04	115,87	0,12
2050	4,538E+05	3,63E+05	3,81E+06	9,15E+05	7,62E+04	105,90	0,11
2051	4,148E+05	3,32E+05	3,48E+06	8,36E+05	6,97E+04	96,78	0,10
2052	3,791E+05	3,03E+05	3,18E+06	7,64E+05	6,37E+04	88,45	0,09
2053	3,465E+05	2,77E+05	2,91E+06	6,98E+05	5,82E+04	80,84	0,08
2054	3,166E+05	2,53E+05	2,66E+06	6,38E+05	5,32E+04	73,88	0,07
2055	2,894E+05	2,32E+05	2,43E+06	5,83E+05	4,86E+04	67,52	0,07
2056	2,645E+05	2,12E+05	2,22E+06	5,33E+05	4,44E+04	61,71	0,06
2057	2,417E+05	1,93E+05	2,03E+06	4,87E+05	4,06E+04	56,40	0,06

**TABELA 28 (continuação)**  
**Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano**  
**para a Hipótese 1 – CEN 2**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m³/ano)	Considerando a Efic. de Captação (m³/ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2058	2,209E+05	1,77E+05	1,86E+06	4,45E+05	3,71E+04	51,55	0,05
2059	2,019E+05	1,62E+05	1,70E+06	4,07E+05	3,39E+04	47,11	0,05
2060	1,845E+05	1,48E+05	1,55E+06	3,72E+05	3,10E+04	43,06	0,04
2061	1,686E+05	1,35E+05	1,42E+06	3,40E+05	2,83E+04	39,35	0,04
2062	1,541E+05	1,23E+05	1,29E+06	3,11E+05	2,59E+04	35,96	0,04
2063	1,409E+05	1,13E+05	1,18E+06	2,84E+05	2,37E+04	32,87	0,03
2064	1,287E+05	1,03E+05	1,08E+06	2,60E+05	2,16E+04	30,04	0,03
2065	1,177E+05	9,41E+04	9,88E+05	2,37E+05	1,98E+04	27,45	0,03
2066	1,075E+05	8,60E+04	9,03E+05	2,17E+05	1,81E+04	25,09	0,03
2067	9,827E+04	7,86E+04	8,26E+05	1,98E+05	1,65E+04	22,93	0,02
2068	8,982E+04	7,19E+04	7,54E+05	1,81E+05	1,51E+04	20,96	0,02
2069	8,209E+04	6,57E+04	6,90E+05	1,65E+05	1,38E+04	19,15	0,02
2070	7,502E+04	6,00E+04	6,30E+05	1,51E+05	1,26E+04	17,50	0,02
2071	6,856E+04	5,49E+04	5,76E+05	1,38E+05	1,15E+04	16,00	0,02
2072	6,266E+04	5,01E+04	5,26E+05	1,26E+05	1,05E+04	14,62	0,01
2073	5,727E+04	4,58E+04	4,81E+05	1,15E+05	9,62E+03	13,36	0,01
2074	5,234E+04	4,19E+04	4,40E+05	1,06E+05	8,79E+03	12,21	0,01
2075	4,784E+04	3,83E+04	4,02E+05	9,64E+04	8,04E+03	11,16	0,01
2076	4,372E+04	3,50E+04	3,67E+05	8,81E+04	7,34E+03	10,20	0,01
2077	3,996E+04	3,20E+04	3,36E+05	8,06E+04	6,71E+03	9,32	0,01
2078	3,652E+04	2,92E+04	3,07E+05	7,36E+04	6,13E+03	8,52	0,01
2079	3,337E+04	2,67E+04	2,80E+05	6,73E+04	5,61E+03	7,79	0,01
2080	3,050E+04	2,44E+04	2,56E+05	6,15E+04	5,12E+03	7,12	0,01
2081	2,788E+04	2,23E+04	2,34E+05	5,62E+04	4,68E+03	6,50	0,01
2082	2,548E+04	2,04E+04	2,14E+05	5,14E+04	4,28E+03	5,94	0,01
2083	2,328E+04	1,86E+04	1,96E+05	4,69E+04	3,91E+03	5,43	0,01
2084	2,128E+04	1,70E+04	1,79E+05	4,29E+04	3,58E+03	4,97	0,00
2085	1,945E+04	1,56E+04	1,63E+05	3,92E+04	3,27E+03	4,54	0,00
2086	1,777E+04	1,42E+04	1,49E+05	3,58E+04	2,99E+03	4,15	0,00
2087	1,624E+04	1,30E+04	1,36E+05	3,27E+04	2,73E+03	3,79	0,00
2088	1,485E+04	1,19E+04	1,25E+05	2,99E+04	2,49E+03	3,46	0,00
2089	1,357E+04	1,09E+04	1,14E+05	2,74E+04	2,28E+03	3,17	0,00
2090	1,240E+04	9,92E+03	1,04E+05	2,50E+04	2,08E+03	2,89	0,00
2091	1,133E+04	9,07E+03	9,52E+04	2,28E+04	1,90E+03	2,64	0,00
2092	1,036E+04	8,29E+03	8,70E+04	2,09E+04	1,74E+03	2,42	0,00
2093	9,467E+03	7,57E+03	7,95E+04	1,91E+04	1,59E+03	2,21	0,00
2094	8,652E+03	6,92E+03	7,27E+04	1,74E+04	1,45E+03	2,02	0,00
2095	7,907E+03	6,33E+03	6,64E+04	1,59E+04	1,33E+03	1,84	0,00
2096	7,227E+03	5,78E+03	6,07E+04	1,46E+04	1,21E+03	1,69	0,00
2097	6,605E+03	5,28E+03	5,55E+04	1,33E+04	1,11E+03	1,54	0,00
2098	6,036E+03	4,83E+03	5,07E+04	1,22E+04	1,01E+03	1,41	0,00
2099	5,517E+03	4,41E+03	4,63E+04	1,11E+04	9,27E+02	1,29	0,00
2100	5,042E+03	4,03E+03	4,24E+04	1,02E+04	8,47E+02	1,18	0,00

**ANEXO N**

***TABELA 29 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 1***

**TABELA 29 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 1**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m³/ano)	Considerando a Efic. de Captação (m³/ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2009	7,715E+04	6,17E+04	6,48E+05	1,56E+05	1,30E+04	18,00	0,02
2010	1,498E+05	1,20E+05	1,26E+06	3,02E+05	2,52E+04	34,95	0,03
2011	2,180E+05	1,74E+05	1,83E+06	4,40E+05	3,66E+04	50,88	0,05
2012	2,821E+05	2,26E+05	2,37E+06	5,69E+05	4,74E+04	65,83	0,07
2013	3,422E+05	2,74E+05	2,87E+06	6,90E+05	5,75E+04	79,86	0,08
2014	3,985E+05	3,19E+05	3,35E+06	8,03E+05	6,70E+04	92,99	0,09
2015	4,511E+05	3,61E+05	3,79E+06	9,09E+05	7,58E+04	105,26	0,11
2016	5,002E+05	4,00E+05	4,20E+06	1,01E+06	8,40E+04	116,72	0,12
2017	5,460E+05	4,37E+05	4,59E+06	1,10E+06	9,17E+04	127,40	0,13
2018	5,885E+05	4,71E+05	4,94E+06	1,19E+06	9,89E+04	137,32	0,14
2019	6,280E+05	5,02E+05	5,28E+06	1,27E+06	1,06E+05	146,53	0,15
2020	6,645E+05	5,32E+05	5,58E+06	1,34E+06	1,12E+05	155,06	0,16
2021	6,983E+05	5,59E+05	5,87E+06	1,41E+06	1,17E+05	162,93	0,16
2022	7,293E+05	5,83E+05	6,13E+06	1,47E+06	1,23E+05	170,18	0,17
2023	7,579E+05	6,06E+05	6,37E+06	1,53E+06	1,27E+05	176,84	0,18
2024	7,840E+05	6,27E+05	6,59E+06	1,58E+06	1,32E+05	182,93	0,18
2025	8,078E+05	6,46E+05	6,79E+06	1,63E+06	1,36E+05	188,49	0,19
2026	8,294E+05	6,64E+05	6,97E+06	1,67E+06	1,39E+05	193,53	0,19
2027	8,490E+05	6,79E+05	7,13E+06	1,71E+06	1,43E+05	198,09	0,20
2028	8,665E+05	6,93E+05	7,28E+06	1,75E+06	1,46E+05	202,18	0,20
2029	8,325E+05	6,66E+05	6,99E+06	1,68E+06	1,40E+05	194,25	0,19
2030	7,999E+05	6,40E+05	6,72E+06	1,61E+06	1,34E+05	186,64	0,19
2031	7,685E+05	6,15E+05	6,46E+06	1,55E+06	1,29E+05	179,32	0,18
2032	7,384E+05	5,91E+05	6,20E+06	1,49E+06	1,24E+05	172,29	0,17
2033	7,094E+05	5,68E+05	5,96E+06	1,43E+06	1,19E+05	165,53	0,17
2034	6,816E+05	5,45E+05	5,73E+06	1,37E+06	1,15E+05	159,04	0,16
2035	6,549E+05	5,24E+05	5,50E+06	1,32E+06	1,10E+05	152,81	0,15
2036	6,292E+05	5,03E+05	5,29E+06	1,27E+06	1,06E+05	146,81	0,15
2037	6,045E+05	4,84E+05	5,08E+06	1,22E+06	1,02E+05	141,06	0,14
2038	5,808E+05	4,65E+05	4,88E+06	1,17E+06	9,76E+04	135,53	0,14
2039	5,581E+05	4,46E+05	4,69E+06	1,13E+06	9,38E+04	130,21	0,13
2040	5,362E+05	4,29E+05	4,50E+06	1,08E+06	9,01E+04	125,11	0,13
2041	5,151E+05	4,12E+05	4,33E+06	1,04E+06	8,65E+04	120,20	0,12
2042	4,950E+05	3,96E+05	4,16E+06	9,98E+05	8,32E+04	115,49	0,12
2043	4,755E+05	3,80E+05	3,99E+06	9,59E+05	7,99E+04	110,96	0,11
2044	4,569E+05	3,66E+05	3,84E+06	9,21E+05	7,68E+04	106,61	0,11
2045	4,390E+05	3,51E+05	3,69E+06	8,85E+05	7,37E+04	102,43	0,10
2046	4,218E+05	3,37E+05	3,54E+06	8,50E+05	7,09E+04	98,41	0,10
2047	4,052E+05	3,24E+05	3,40E+06	8,17E+05	6,81E+04	94,55	0,09
2048	3,893E+05	3,11E+05	3,27E+06	7,85E+05	6,54E+04	90,85	0,09
2049	3,741E+05	2,99E+05	3,14E+06	7,54E+05	6,28E+04	87,28	0,09
2050	3,594E+05	2,88E+05	3,02E+06	7,25E+05	6,04E+04	83,86	0,08
2051	3,453E+05	2,76E+05	2,90E+06	6,96E+05	5,80E+04	80,57	0,08
2052	3,318E+05	2,65E+05	2,79E+06	6,69E+05	5,57E+04	77,41	0,08
2053	3,188E+05	2,55E+05	2,68E+06	6,43E+05	5,36E+04	74,38	0,07
2054	3,063E+05	2,45E+05	2,57E+06	6,17E+05	5,15E+04	71,46	0,07
2055	2,943E+05	2,35E+05	2,47E+06	5,93E+05	4,94E+04	68,66	0,07
2056	2,827E+05	2,26E+05	2,37E+06	5,70E+05	4,75E+04	65,97	0,07
2057	2,716E+05	2,17E+05	2,28E+06	5,48E+05	4,56E+04	63,38	0,06

**TABELA 29 (continuação)**  
**Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano**  
**para a Hipótese 2 – CEN 1**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m³/ano)	Considerando a Efic. de Captação (m³/ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2058	2,610E+05	2,09E+05	2,19E+06	5,26E+05	4,38E+04	60,90	0,06
2059	2,508E+05	2,01E+05	2,11E+06	5,06E+05	4,21E+04	58,51	0,06
2060	2,409E+05	1,93E+05	2,02E+06	4,86E+05	4,05E+04	56,21	0,06
2061	2,315E+05	1,85E+05	1,94E+06	4,67E+05	3,89E+04	54,01	0,05
2062	2,224E+05	1,78E+05	1,87E+06	4,48E+05	3,74E+04	51,89	0,05
2063	2,137E+05	1,71E+05	1,79E+06	4,31E+05	3,59E+04	49,86	0,05
2064	2,053E+05	1,64E+05	1,72E+06	4,14E+05	3,45E+04	47,90	0,05
2065	1,972E+05	1,58E+05	1,66E+06	3,98E+05	3,31E+04	46,02	0,05
2066	1,895E+05	1,52E+05	1,59E+06	3,82E+05	3,18E+04	44,22	0,04
2067	1,821E+05	1,46E+05	1,53E+06	3,67E+05	3,06E+04	42,49	0,04
2068	1,749E+05	1,40E+05	1,47E+06	3,53E+05	2,94E+04	40,82	0,04
2069	1,681E+05	1,34E+05	1,41E+06	3,39E+05	2,82E+04	39,22	0,04
2070	1,615E+05	1,29E+05	1,36E+06	3,26E+05	2,71E+04	37,68	0,04
2071	1,552E+05	1,24E+05	1,30E+06	3,13E+05	2,61E+04	36,20	0,04
2072	1,491E+05	1,19E+05	1,25E+06	3,01E+05	2,50E+04	34,78	0,03
2073	1,432E+05	1,15E+05	1,20E+06	2,89E+05	2,41E+04	33,42	0,03
2074	1,376E+05	1,10E+05	1,16E+06	2,77E+05	2,31E+04	32,11	0,03
2075	1,322E+05	1,06E+05	1,11E+06	2,67E+05	2,22E+04	30,85	0,03
2076	1,270E+05	1,02E+05	1,07E+06	2,56E+05	2,13E+04	29,64	0,03
2077	1,221E+05	9,76E+04	1,03E+06	2,46E+05	2,05E+04	28,48	0,03
2078	1,173E+05	9,38E+04	9,85E+05	2,36E+05	1,97E+04	27,36	0,03
2079	1,127E+05	9,01E+04	9,46E+05	2,27E+05	1,89E+04	26,29	0,03
2080	1,083E+05	8,66E+04	9,09E+05	2,18E+05	1,82E+04	25,26	0,03
2081	1,040E+05	8,32E+04	8,74E+05	2,10E+05	1,75E+04	24,27	0,02
2082	9,993E+04	7,99E+04	8,39E+05	2,01E+05	1,68E+04	23,32	0,02
2083	9,601E+04	7,68E+04	8,06E+05	1,94E+05	1,61E+04	22,40	0,02
2084	9,225E+04	7,38E+04	7,75E+05	1,86E+05	1,55E+04	21,52	0,02
2085	8,863E+04	7,09E+04	7,44E+05	1,79E+05	1,49E+04	20,68	0,02
2086	8,515E+04	6,81E+04	7,15E+05	1,72E+05	1,43E+04	19,87	0,02
2087	8,181E+04	6,55E+04	6,87E+05	1,65E+05	1,37E+04	19,09	0,02
2088	7,861E+04	6,29E+04	6,60E+05	1,58E+05	1,32E+04	18,34	0,02
2089	7,552E+04	6,04E+04	6,34E+05	1,52E+05	1,27E+04	17,62	0,02
2090	7,256E+04	5,81E+04	6,10E+05	1,46E+05	1,22E+04	16,93	0,02
2091	6,972E+04	5,58E+04	5,86E+05	1,41E+05	1,17E+04	16,27	0,02
2092	6,698E+04	5,36E+04	5,63E+05	1,35E+05	1,13E+04	15,63	0,02
2093	6,436E+04	5,15E+04	5,41E+05	1,30E+05	1,08E+04	15,02	0,02
2094	6,183E+04	4,95E+04	5,19E+05	1,25E+05	1,04E+04	14,43	0,01
2095	5,941E+04	4,75E+04	4,99E+05	1,20E+05	9,98E+03	13,86	0,01
2096	5,708E+04	4,57E+04	4,79E+05	1,15E+05	9,59E+03	13,32	0,01
2097	5,484E+04	4,39E+04	4,61E+05	1,11E+05	9,21E+03	12,80	0,01
2098	5,269E+04	4,22E+04	4,43E+05	1,06E+05	8,85E+03	12,29	0,01
2099	5,063E+04	4,05E+04	4,25E+05	1,02E+05	8,51E+03	11,81	0,01
2100	4,864E+04	3,89E+04	4,09E+05	9,81E+04	8,17E+03	11,35	0,01

**ANEXO O**

***TABELA 30 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 2***

**TABELA 30 – Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano para a Hipótese 2 – CEN 2**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m <sup>3</sup> /ano)	Considerando a Efic. de Captação (m <sup>3</sup> /ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2009	1,940E+05	1,55E+05	1,63E+06	3,91E+05	3,26E+04	45,27	0,05
2010	3,676E+05	2,94E+05	3,09E+06	7,41E+05	6,17E+04	85,76	0,09
2011	5,224E+05	4,18E+05	4,39E+06	1,05E+06	8,78E+04	121,89	0,12
2012	6,601E+05	5,28E+05	5,55E+06	1,33E+06	1,11E+05	154,03	0,15
2013	7,823E+05	6,26E+05	6,57E+06	1,58E+06	1,31E+05	182,54	0,18
2014	8,902E+05	7,12E+05	7,48E+06	1,79E+06	1,50E+05	207,72	0,21
2015	9,852E+05	7,88E+05	8,28E+06	1,99E+06	1,66E+05	229,89	0,23
2016	1,068E+06	8,55E+05	8,97E+06	2,15E+06	1,79E+05	249,30	0,25
2017	1,141E+06	9,13E+05	9,58E+06	2,30E+06	1,92E+05	266,19	0,27
2018	1,203E+06	9,63E+05	1,01E+07	2,43E+06	2,02E+05	280,80	0,28
2019	1,257E+06	1,01E+06	1,06E+07	2,53E+06	2,11E+05	293,34	0,29
2020	1,303E+06	1,04E+06	1,09E+07	2,63E+06	2,19E+05	303,98	0,30
2021	1,341E+06	1,07E+06	1,13E+07	2,70E+06	2,25E+05	312,91	0,31
2022	1,373E+06	1,10E+06	1,15E+07	2,77E+06	2,31E+05	320,28	0,32
2023	1,398E+06	1,12E+06	1,17E+07	2,82E+06	2,35E+05	326,24	0,33
2024	1,418E+06	1,13E+06	1,19E+07	2,86E+06	2,38E+05	330,93	0,33
2025	1,433E+06	1,15E+06	1,20E+07	2,89E+06	2,41E+05	334,46	0,33
2026	1,444E+06	1,16E+06	1,21E+07	2,91E+06	2,43E+05	336,94	0,34
2027	1,451E+06	1,16E+06	1,22E+07	2,92E+06	2,44E+05	338,49	0,34
2028	1,454E+06	1,16E+06	1,22E+07	2,93E+06	2,44E+05	339,18	0,34
2029	1,329E+06	1,06E+06	1,12E+07	2,68E+06	2,23E+05	309,99	0,31
2030	1,214E+06	9,71E+05	1,02E+07	2,45E+06	2,04E+05	283,31	0,28
2031	1,110E+06	8,88E+05	9,32E+06	2,24E+06	1,86E+05	258,92	0,26
2032	1,014E+06	8,11E+05	8,52E+06	2,04E+06	1,70E+05	236,64	0,24
2033	9,269E+05	7,41E+05	7,79E+06	1,87E+06	1,56E+05	216,27	0,22
2034	8,471E+05	6,78E+05	7,12E+06	1,71E+06	1,42E+05	197,66	0,20
2035	7,742E+05	6,19E+05	6,50E+06	1,56E+06	1,30E+05	180,64	0,18
2036	7,076E+05	5,66E+05	5,94E+06	1,43E+06	1,19E+05	165,10	0,17
2037	6,467E+05	5,17E+05	5,43E+06	1,30E+06	1,09E+05	150,89	0,15
2038	5,910E+05	4,73E+05	4,96E+06	1,19E+06	9,93E+04	137,90	0,14
2039	5,401E+05	4,32E+05	4,54E+06	1,09E+06	9,07E+04	126,03	0,13
2040	4,936E+05	3,95E+05	4,15E+06	9,95E+05	8,29E+04	115,18	0,12
2041	4,512E+05	3,61E+05	3,79E+06	9,10E+05	7,58E+04	105,27	0,11
2042	4,123E+05	3,30E+05	3,46E+06	8,31E+05	6,93E+04	96,21	0,10
2043	3,768E+05	3,01E+05	3,17E+06	7,60E+05	6,33E+04	87,93	0,09
2044	3,444E+05	2,76E+05	2,89E+06	6,94E+05	5,79E+04	80,36	0,08
2045	3,148E+05	2,52E+05	2,64E+06	6,35E+05	5,29E+04	73,44	0,07
2046	2,877E+05	2,30E+05	2,42E+06	5,80E+05	4,83E+04	67,12	0,07
2047	2,629E+05	2,10E+05	2,21E+06	5,30E+05	4,42E+04	61,35	0,06
2048	2,403E+05	1,92E+05	2,02E+06	4,84E+05	4,04E+04	56,07	0,06
2049	2,196E+05	1,76E+05	1,84E+06	4,43E+05	3,69E+04	51,24	0,05
2050	2,007E+05	1,61E+05	1,69E+06	4,05E+05	3,37E+04	46,83	0,05
2051	1,834E+05	1,47E+05	1,54E+06	3,70E+05	3,08E+04	42,80	0,04
2052	1,676E+05	1,34E+05	1,41E+06	3,38E+05	2,82E+04	39,12	0,04
2053	1,532E+05	1,23E+05	1,29E+06	3,09E+05	2,57E+04	35,75	0,04
2054	1,400E+05	1,12E+05	1,18E+06	2,82E+05	2,35E+04	32,67	0,03
2055	1,280E+05	1,02E+05	1,07E+06	2,58E+05	2,15E+04	29,86	0,03
2056	1,170E+05	9,36E+04	9,82E+05	2,36E+05	1,96E+04	27,29	0,03
2057	1,069E+05	8,55E+04	8,98E+05	2,15E+05	1,80E+04	24,94	0,02

**TABELA 30 (continuação)**  
**Cálculo da produção de energia a partir da estimativa da geração de metano**  
**para a Hipótese 2 – CEN 2**

Ano	Metano		Energia		Energia Produzida (kWh/mês)	Potência (kW)	Potência (MW)
	(m³/ano)	Considerando a Efic. de Captação (m³/ano)	(kWh/ano)	Considerando a Efic. do Conj. e Operação (kWh/ano)			
2058	9,769E+04	7,82E+04	8,21E+05	1,97E+05	1,64E+04	22,79	0,02
2059	8,928E+04	7,14E+04	7,50E+05	1,80E+05	1,50E+04	20,83	0,02
2060	8,160E+04	6,53E+04	6,85E+05	1,65E+05	1,37E+04	19,04	0,02
2061	7,458E+04	5,97E+04	6,26E+05	1,50E+05	1,25E+04	17,40	0,02
2062	6,816E+04	5,45E+04	5,73E+05	1,37E+05	1,15E+04	15,90	0,02
2063	6,229E+04	4,98E+04	5,23E+05	1,26E+05	1,05E+04	14,53	0,01
2064	5,693E+04	4,55E+04	4,78E+05	1,15E+05	9,56E+03	13,28	0,01
2065	5,203E+04	4,16E+04	4,37E+05	1,05E+05	8,74E+03	12,14	0,01
2066	4,755E+04	3,80E+04	3,99E+05	9,59E+04	7,99E+03	11,10	0,01
2067	4,346E+04	3,48E+04	3,65E+05	8,76E+04	7,30E+03	10,14	0,01
2068	3,972E+04	3,18E+04	3,34E+05	8,01E+04	6,67E+03	9,27	0,01
2069	3,630E+04	2,90E+04	3,05E+05	7,32E+04	6,10E+03	8,47	0,01
2070	3,318E+04	2,65E+04	2,79E+05	6,69E+04	5,57E+03	7,74	0,01
2071	3,032E+04	2,43E+04	2,55E+05	6,11E+04	5,09E+03	7,07	0,01
2072	2,771E+04	2,22E+04	2,33E+05	5,59E+04	4,66E+03	6,47	0,01
2073	2,533E+04	2,03E+04	2,13E+05	5,11E+04	4,25E+03	5,91	0,01
2074	2,315E+04	1,85E+04	1,94E+05	4,67E+04	3,89E+03	5,40	0,01
2075	2,115E+04	1,69E+04	1,78E+05	4,26E+04	3,55E+03	4,94	0,00
2076	1,933E+04	1,55E+04	1,62E+05	3,90E+04	3,25E+03	4,51	0,00
2077	1,767E+04	1,41E+04	1,48E+05	3,56E+04	2,97E+03	4,12	0,00
2078	1,615E+04	1,29E+04	1,36E+05	3,26E+04	2,71E+03	3,77	0,00
2079	1,476E+04	1,18E+04	1,24E+05	2,98E+04	2,48E+03	3,44	0,00
2080	1,349E+04	1,08E+04	1,13E+05	2,72E+04	2,27E+03	3,15	0,00
2081	1,233E+04	9,86E+03	1,04E+05	2,49E+04	2,07E+03	2,88	0,00
2082	1,127E+04	9,01E+03	9,46E+04	2,27E+04	1,89E+03	2,63	0,00
2083	1,030E+04	8,24E+03	8,65E+04	2,08E+04	1,73E+03	2,40	0,00
2084	9,410E+03	7,53E+03	7,90E+04	1,90E+04	1,58E+03	2,20	0,00
2085	8,600E+03	6,88E+03	7,22E+04	1,73E+04	1,44E+03	2,01	0,00
2086	7,860E+03	6,29E+03	6,60E+04	1,58E+04	1,32E+03	1,83	0,00
2087	7,184E+03	5,75E+03	6,03E+04	1,45E+04	1,21E+03	1,68	0,00
2088	6,565E+03	5,25E+03	5,51E+04	1,32E+04	1,10E+03	1,53	0,00
2089	6,000E+03	4,80E+03	5,04E+04	1,21E+04	1,01E+03	1,40	0,00
2090	5,484E+03	4,39E+03	4,61E+04	1,11E+04	9,21E+02	1,28	0,00
2091	5,012E+03	4,01E+03	4,21E+04	1,01E+04	8,42E+02	1,17	0,00
2092	4,581E+03	3,66E+03	3,85E+04	9,23E+03	7,70E+02	1,07	0,00
2093	4,186E+03	3,35E+03	3,52E+04	8,44E+03	7,03E+02	0,98	0,00
2094	3,826E+03	3,06E+03	3,21E+04	7,71E+03	6,43E+02	0,89	0,00
2095	3,497E+03	2,80E+03	2,94E+04	7,05E+03	5,87E+02	0,82	0,00
2096	3,196E+03	2,56E+03	2,68E+04	6,44E+03	5,37E+02	0,75	0,00
2097	2,921E+03	2,34E+03	2,45E+04	5,89E+03	4,91E+02	0,68	0,00
2098	2,669E+03	2,14E+03	2,24E+04	5,38E+03	4,48E+02	0,62	0,00
2099	2,440E+03	1,95E+03	2,05E+04	4,92E+03	4,10E+02	0,57	0,00
2100	2,230E+03	1,78E+03	1,87E+04	4,49E+03	3,75E+02	0,52	0,00

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). *NBR 8849 - Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbano*. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). *NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004a). *NBR 10004 - Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004b). *NBR 10005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004c). *NBR 10006 - Procedimento de obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004d). *NBR 10007 - Amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *Chapter 2: Landfill Gas Basics*. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>. Acessado em: 22/nov. 2006.

BARBOSA, A. A. (2006). *Monitoramento de Cheias*. Disponível em: <http://www.professoralexandre.unifei.edu.br/Estacoes/Estacoes.html>. Acessado em: (25/jan. 2007).

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. (1999). *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos*. São Carlos, EESC/USP.

BIDONE, F.R.A., org. (1999). *Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem, e reutilização de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, ABES.

BIDONE, F.R.A., org. (2001). *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização*. Edital 2. Rio de Janeiro, RiMa Artes e Textos, ABES.

BRASIL. (1998). Crimes Ambientais: Lei 9.605 de 12/02/1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. (2002). Lei 10.438 de 26/04/2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº. 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº. 9.648, de 27 de maio de 1998, nº. 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº. 5.655, de 20 de maio de 1971, nº. 5.899, de 5 de julho de 1973, nº. 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (2007). *Tarifa*. Disponível em: <http://www.cemig.com.br>. Acessado em: 15/jan. 2007.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (2004). *Estudo do Potencial da Geração de Energia Renovável Proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil*. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/releaseaterro.pdf>> Acessado em: 30/nov.2006.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1998). *Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de resíduos*. vol. 1. /Relatório Final

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (2006). *Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos – Um Novo Modelo de Gestão*.

CHERNICHARO, C.A.L. (1997). *Reatores Anaeróbios*. Belo Horizonte: DESA/UFMG.

CPTI - COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS (1997). *Estudo de Impacto Ambiental – EIA Aterro Sanitário de Itajubá – MG*. Itajubá. /Relatório técnico CPTI.

CRUZ, M.L.F.R. (2005). *A Caracterização de Resíduos Sólidos no Âmbito da sua Gestão Integrada*. Braga. 219 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Ciências, Universidade do Minho (Portugal).

D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A.; coord. (2000). *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2.ed. São Paulo, IPT/CEMPRE.

EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1991). *Regulatory Package for New Source Performance Standards and III (d) Guidelines for Municipal Solid Waste Air Emissions, Public Docket n. A-88-09*. Research Triangle Park, NC.

EPA -U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1996). *Turning a liability into an asset: a landfill gas-to-energy project development handbook*.

EPA -U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1997). *Emission Factor Documentation for AP-42 Section 2.4 Municipal Solid Waste Landfills – Revised*. North Carolina, USA. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/index.html>. Acessado em: 01/nov.2006.

EPA -U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html#software>. Acessado em: 10/out. 2006.

ERRA - EUROPEAN RECOVERY & RECYCLING ASSOCIATION (1993). *Waste analysis procedure*. Reference multimaterial recovery.

FILHO, L.F.B. (2005). *Estudos de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. Rio de Janeiro. 222 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

FRAMIL, E.F. (2003). *Base Pedológica, com Ênfase a Erosão, para a Elaboração de uma Política de Meio Ambiente para Itajubá/MG*. 45 p. Trabalho de Diploma (Conclusão da Graduação) – Universidade Federal de Itajubá/MG.

GASNET (s/d). *Termelétricas*. Disponível em: [http://www.gasnet.com.br/novo\\_termeletrica/ciclo.asp](http://www.gasnet.com.br/novo_termeletrica/ciclo.asp). Acessado em: 20/nov. 2006

GAUTIER, N.; NOYON, N. (1997). *MODECOM et les colletes séparatives: compléments au guide méthodologique de caractérisation des ourdurs ménagères*. Agence de L'environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Ademe Editions.

GALAVOTI, R.C. (2003). *Efeitos das relações  $DQO/SO_4^{2-}$  e das variações progressivas da concentração de sulfatos no desempenho do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF)*. São Carlos, 287p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.

GOLDER ASSOCIATES (2002). *Manual GasSim (Versão 1.0)*. Disponível em: <http://www.gassim.co.uk>. Acessado em: 03/dez.2006.

GOOGLE EARTH . Disponível em: [http://www.earth.google.com/download\\_earth.html](http://www.earth.google.com/download_earth.html). Acessado em: 02/jan. 2007.

GUADAGNIN, M.R. et al. (s/d). *Classificação, Determinação e Análise da Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos dos Municípios de Criciúma, Içara e Nova Veneza do Estado de Santa Catarina – Brasil*. Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

HENRIQUES, R. M. (2004). *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica*. Rio de Janeiro. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

HERMANN, T. (2005). *Eper Alemanha*. Disponível em: [http://www.eper.de/startseit/faq/deponien/deponie\\_v\\_anlage.pdf](http://www.eper.de/startseit/faq/deponien/deponie_v_anlage.pdf). Acessado em: 10/dez.2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA (2000a). Censo 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acessado em: 13/ set.2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA (2000b). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/previdencia/noticias/27032002pnsb.shtm>. Acessado em: 13/ set.2003.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (1997). *Appendix k Waste Incineration - Renewables in Power Generation: Towards a Better Environment*.

INFOMONEY (2007). *Cotações*. Disponível em: <http://web.infomoney.com.br/investimentos/cotacoes>. Acessado em: 09/fev. 2007.

ITAJUBÁ. (1991). Lei nº1795 de 2/05/1991. Código de Postura do Município. 61 p.

JÚNIOR, A.F.C.T (2007). *Informações do Município de Itajubá e Região – Versão 07/02/2007*. Itajubá. /Relatório Técnico Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia, Indústria e Comércio/ p.20.

JÚNIOR, C.B.; TAVARES, C.R.G. (2002). Determinação da Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maringá – PR. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 3., Porto Alegre. Anais. Porto Alegre.

LANDFILL METHANE OUTREACH PROGRAM (LMOP) (2006). Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop>. Acessado em: 12/out. 2006.

LEME, S.M; JÓIA, P.R. (2004). Técnicas de Amostragem Domiciliar para Caracterização Física dos Resíduos Sólidos. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICAS DO PANTANAL, 4, Corumbá/MS. Disponível em: [http://www.cpap.embrapa.br/agencia/simpan/sumario/resumos/asperctos/pdf/socio/236SC\\_Leme\\_1-OK.PDF](http://www.cpap.embrapa.br/agencia/simpan/sumario/resumos/asperctos/pdf/socio/236SC_Leme_1-OK.PDF). Acessado em: 10/jul. 2006.

LETTINGA, G. (s/d). *Chapter 4: Methane production*. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w7241E/w7241eOf.htm>. Acessado em: 2/jan.2007.

LIMA, J.D. (s/d). *Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil*. Campina Grande – PB, Inspira Comunicação e Design.

LIMA, L.M.Q. (1995). *Tratamento de lixo biorremediação de áreas degradadas*. São Paulo, Hemus.

LIMA, L.M.Q. (2004). *Lixo – Tratamento e Biorremediação*. São Paulo, Hemus.

LIMA, L.M.Q. (2005). *Remedições de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia)*. São Paulo, Hemus.

MADEIRA, J.L.; SIMÕES, C.C.S. (1972). *Metodologia adotada nas estimativas populacionais municipais*. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2005/estimativa\\_pop.shtm?c=2](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2005/estimativa_pop.shtm?c=2). Acessado em: 02/dez. 2006.

MAGALHÃES, E.A. et al.. (2004). Confecção e Avaliação de um Sistema de Remoção de CO<sub>2</sub> contido no Biogás. *Acta Scientiarum.Technology*, Maringá, v.26, n.1, p. 11-19.

MARTINS, A.H.M.C.; VELHOSO, C.H.V.; CHENNA, S.I.M. (s/d). *Caracterização Qualitativa e Quantitativa dos Resíduos Sólidos Urbanos em Cidade de Porte Médio – Metodologia Proposta*. 6p.

MENEZES, R.A.A.; GERLACH, J.L.; MENEZES, M.A. (2000). *Estágio Atual da Incineração do Brasil*. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP) – VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública.

MILANI & SANTOS [2005]. *Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos no Município de Santo André de 2004 e 2005*.

MINAS GERAIS. (2001). Deliberação Normativa nº52 de 14/12/2001. Convoca os municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências.

MINAS GERAIS. (2003). Deliberação Normativa nº67 de 18/11/2003. Prorroga os prazos estabelecidos pelos artigos 1º e 2º da Deliberação Normativa nº52 de 14 de dezembro de 2001 e altera a redação do inciso V do artigo 2º.

MINAS GERAIS. (2004). Deliberação Normativa nº75 de 25/10/2004. Convoca os municípios com população entre 30.000 e 50.000 habitantes ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos e altera os prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa nº52 de 14/12/2001.

MONTEIRO, M.B.; COSTA, M.B. (2006). *Relatório e Plano de Controle Ambiental do Aterro Sanitário de Itajubá/MG*. Itajubá: Relatório Técnico Novo Meio Engenharia & Consultoria Ltda.

MUYLAERT, M.S., coord. (2000). *Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudos de Caso*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.

OLIVEIRA, L.B. (2004). *Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil*. Rio de Janeiro. 237 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

OLIVEIRA, S. (1999). Caracterização física dos resíduos sólidos domésticos (RSD) da cidade de Botucatu/SP. Disponível em: <http://www.botucatu.sp.gov.br/artigos/artigos/RevAbes.pdf>. Acessado em: 21/ jul. 2003.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=32&Area=Conceito>. Acessado em: (27/ set.2003)

PHILIPPI JÚNIOR, A. (1999). Agenda 21 e resíduos sólidos. In: RESID'99 – SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. p.15-26.

REICHERT, G.A. (2005). *Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão*. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande (MS), 18 a 23 de setembro de 2005.

RISE-AT - REGIONAL INFORMATION SERVICE CENTER FOR SOUTH EAST ASIA ON APPROPRIATE TECHNOLOGY (1998). *Review of current status of anaerobic digestion technology for treatment of municipal solid waste*. Chiang Mai, Thailand. 22 p.

SCHARFF, H.; JACOBS, J. (2006). *Applying Guidance for Methane Emission Estimation for Landfills*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acessado em: 05/dez.2006.

SEATTLE PUBLIC UTILITIES (SPU) (2003). *Residential waste stream composition study, final report*. Seattle. Cascadia Xonsulting Group.

SENEGA, M. (2004). *Termelétrica do Aterro Bandeirantes reduz emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera*. Disponível em: [http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25\\_termeletrica.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25_termeletrica.htm). Acessado em: 31/jan. 2007.

SILVA, A.T.T.; COSTA, H.S. (2003). *Estudo Preliminar sobre os Resíduos Sólidos da Cidade de Itajubá (MG): Caracterização Física no período do inverno*. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande (MS), 18 a 23 de setembro de 2005.

SILVA, A.T.T.; PEREIRA, M.P.; MELLONI, R. (2002). *Compostagem como alternativa para a destinação de resíduos orgânicos gerados na UNIFEI E CEASA (Itajubá/MG)*. Itajubá. 19p. Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) – Universidade Federal de Itajubá.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (2006). *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2004*. Brasília: MCIDADES. SNSA.

SPERLING, M.V. (1996). *Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. DESA – UFMG, vol. 2.

TEIXEIRA, E.N, FASSINA, L.T.C.V.S., CASTRO, V.L. F.L. (1997). Potencial de minimização de resíduos sólidos domésticos em termos de matéria orgânica e embalagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu: ABES, 1997. Anais em CD-Rom.

THENQUINI, J.A.; FREIRE, E.M.D.L. (2000). O Lixo Urbano de Cuiabá e a Conservação do Meio Ambiente. *Revista de Educação Pública*. V.09, n.17. jan.-jun. Disponível em: [http://www.ufmt.br/revista/arquivo/rev17/edu\\_amb\\_aparecido.htm](http://www.ufmt.br/revista/arquivo/rev17/edu_amb_aparecido.htm) Acessado em: 21/ jul.2003.

TOLMASQUIM, T.M., org. (2003). *Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. Rio de Janeiro, Interciência, CENERGIA.

VERMA, S. (2002). *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal solid Wastes*. Department of Earth & Environmental Engineering, Columbia University.

WILLUMSEN, H.C. (2001). *Energy Recovery from Landfill Gas in Denmark and Worldwide*. Disponível em: <http://www.lei.lt/Opet/Pdf/Willumsen.pdf>. Acessado em: 15/ jul. 2005



