



ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA E PODER CALORÍFICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Erika Leite de Souza Ferreira Soares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Claudio Fernando Mahler

Rio de Janeiro

Maio de 2011

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA E PODER CALORÍFICO
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Erika Leite de Souza Ferreira Soares

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Claudio Fernando Mahler, D.Sc.

Prof^a. Márcia Marques Gomes, Ph.D.

Prof. Newton Moreira de Souza, D.Sc.

Dr. Juliana Lundgren Rose, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2011

Soares, Erika Leite de Souza Ferreira

Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos / Erika Leite de Souza Ferreira Soares. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XVII, 133 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Claudio Fernando Mahler

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 104-112.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Caracterização Gravimétrica. 3. Poder Calorífico. I. Mahler, Claudio Fernando. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

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

Humberto de Campos Veras (1934).

Dedico este trabalho aos meus pais, Rejane e Marcos, a minha querida avó Ezila Soares e a meu noivo Ricardo, pelo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Após esta jornada, a imensa satisfação que sinto ao terminar esta dissertação é indescritível. Por isso, não posso deixar de agradecer às pessoas, que de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus, presente em todos os momentos da minha vida, o meu muito obrigada.

À minha família, que me apoiou na realização de mais uma etapa em minha vida acadêmica. Sou muito grata a todos vocês: Rejane, Marcos, Ezila, Ricardo, Rachel, Roberta, Nescy e Waldir.

Ao mestre Claudio Fernando Mahler, obrigada pela orientação, pelo apoio incondicional, pela amizade e confiança depositada na realização deste trabalho.

Aos queridos amigos da COPPE Jacqueline, Yasmim, Mônica, William e Francesco. A convivência com vocês durante todo este tempo me fez perceber como são especiais. Serei eternamente grata pelo carinho, apoio e amizade.

À amiga querida de laboratório Júlia Righi, pela sua companhia durante todo o mestrado, desde as disciplinas até a conclusão desta pesquisa. Obrigada pela sua paciência e por toda sua ajuda.

Às amigas Lúcia e Natalia, por todo apoio e compreensão durante todos esses anos de amizade.

Ao querido amigo Luiz Almeida, pelo auxílio em todos os ensaios, sem você essa dissertação não estaria pronta. Obrigada por todo o seu apoio!

Aos amigos Juliana Rose, Ronaldo Izzo e Adriana Schueler. Ter tido o apoio de vocês foi muito importante para que este trabalho tenha ficado pronto.

Aos funcionários do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, Alice, Márcia, João e Soninha, pela convivência extremamente agradável.

Aos professores do Programa de Engenharia Civil/COPPE da área de Meio Ambiente, pelos conhecimentos adquiridos durante o mestrado.

Ao setor de transportes da COPPE/UFRJ, em especial ao Laerte Xavier, chefe do Departamento de Transportes, pela atenção e grande apoio logístico durante o período de pesquisa de campo.

À CTR Nova Iguaçu pelo apoio logístico prestado, e pessoal de campo à disposição, oferecendo condições favoráveis que permitiram a elaboração deste trabalho.

À FAPERJ, pela bolsa concedida do Programa Bolsa Nota 10, durante os últimos 12 meses do mestrado.

À Rita de Cássia Lisboa da Secretaria Executiva do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, pelo carinho e por toda a atenção prestada desde o início do Mestrado.

À Maíra do Laboratório de Ecologia da UERJ, pelo apoio prestado na análise de alguns ensaios de laboratório.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA E PODER CALORÍFICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Erika Leite de Souza Ferreira Soares

Maio/2011

Orientador: Claudio Fernando Mahler

Programa: Engenharia Civil

Tratar e dar um destino adequado à grande quantidade de resíduos tem sido um grande desafio às autoridades brasileiras. Para que haja melhor gestão e gerenciamento de resíduos é preciso conhecer qual a quantidade e que tipo de material é descartado, pois a partir desses dados é possível definir melhor a política municipal dos resíduos e, eventualmente, estimar a energia que poderá ser aproveitada a partir dos mesmos. Os resíduos sólidos urbanos dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro foram analisados neste trabalho. Campanhas de amostragem foram realizadas para a obtenção de amostras para a caracterização gravimétrica e determinação do poder calorífico, em cada cidade. A caracterização gravimétrica para os resíduos sólidos urbanos dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, indicou valores de materiais orgânicos semelhantes aos índices habituais brasileiros, com 56% e 50%, respectivamente. Foram realizadas estimativas de geração de energia elétrica a partir dos dados obtidos de poder calorífico dos RSU recebidos na Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu (CTR-NI), provenientes dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro. A geração de energia no estado atual, pode abastecer cerca de 594.000 residências, com uma produção de energia de 106.835,23 MWh. Observou-se na condição de reciclagem com 100%, que a quantidade de energia elétrica gerada ainda é significativa, com 67.017,85 MWh, sendo possível abastecer cerca de 372.000 residências.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STUDY OF THE GRAVIMETRIC CHARACTERISATION AND HEATING
VALUE OF URBAN SOLID WASTE

Erika Leite de Souza Ferreira Soares

May/ 2011

Advisor: Claudio Fernando Mahler

Department: Civil Engineering

Treat and give a proper destination to the large amount of produced waste has been a major challenge for the Brazilian authorities. It is necessary to have knowledge of the quantity and the type of material disposed of to have the best residue management. Based upon these data it is possible to define the best municipal waste policy and, even, estimate the energy that could be exploited. The municipal solid waste (MSW) of Nova Iguaçu and Rio de Janeiro city were analyzed in this study. Sampling campaigns were carried out to obtain waste samples for gravimetric characterization and to determine the heating value, for each city. The gravimetric characterization for municipal solid waste in the cities of Nova Iguaçu and Rio de Janeiro showed values of organic materials similar to the usual rates found in Brazil with 56% and 50% respectively. Electricity generation was estimated from the data obtained from the heating value of MSW received at the Waste Treatment Plant in Nova Iguaçu, from the cities of Nova Iguaçu and Rio de Janeiro. The current electric power generation, can supply about 594,000 houses, with an energy production of 106,835.23 MWh. It was observed in the condition with 100% recycling, that the amount of generated electricity is still significant (67,017.85 MWh) and can power about 372,000 houses.

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</i>	1
1.1 – Apresentação	1
1.2 – Objetivos	3
1.3 – Estrutura da Dissertação	3
<i>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	5
2.1 – Resíduos Sólidos Urbanos	5
2.1.1 – Definição e Classificação	5
2.1.2 – Geração	7
2.2 – Características dos Resíduos Sólidos Urbanos	8
2.2.1 – Consequências Práticas Decorrentes dos Processos Biológicos em Aterros	9
2.2.2 – Propriedades Químicas	9
2.2.3 – Propriedades Físicas	10
2.2.3.1. Composição Gravimétrica	10
2.2.3.2. Distribuição do Tamanho das Partículas	13
2.2.3.3. Distribuição dos Grupos de Materiais	13
2.2.3.4. Caracterização Morfológica dos RSU	14
2.2.3.5. Teor de Umidade	15
2.2.3.6. Peso Específico.....	16
2.2.3.7. Permeabilidade	16
2.2.3.8. Temperatura.....	16
2.3 – Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos	18
2.3.1 – Métodos de Tratamento dos RSU.....	19
2.3.2 – Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	23
2.4 – Emissões Gasosas de Resíduos Sólidos Urbanos	25
2.5 – Os RSU e sua Contribuição para a Intensificação do Efeito Estufa	27
2.6 – Energia	28
2.6.1 – Geração de Energia a Partir de RSU	28
2.6.2 – Descrição das Tecnologias de Aproveitamento Energético de Resíduos... 30	
2.6.2.1. Recuperação Energética do Biogás	30

2.6.2.2. Tecnologia da Incineração Controlada de RSU	32
<i>CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO</i>	35
3.1. Município de Nova Iguaçu, RJ	35
3.1.1. Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu	37
3.1.1.1. Aterro Sanitário da CTR-NI	40
3.2. Coleta Convencional de RSU do Município de Nova Iguaçu	43
3.3. Coleta Convencional de RSU do Município do Rio de Janeiro	43
<i>CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS</i>	47
4.1 – Definição das Amostras	47
4.1.1 – Caracterização Gravimétrica	47
4.1.2 – Ensaio Físico-Químico	48
4.2 – Coleta e Separação da Amostra	48
4.3 – Ensaio de Caracterização Físico-Química das Amostras de RSU	50
4.3.1 – Equipamentos Utilizados	51
4.3.2 – Identificação dos Resíduos	54
4.3.3 – Caracterização Gravimétrica dos RSU	54
4.3.4 – Determinação do Teor de Umidade.....	59
4.3.5 – Distribuição dos Grupos de Materiais	62
4.3.6 – Caracterização Morfológica dos RSU	63
4.3.7 – Determinação do Teor de Sólidos Voláteis	66
4.3.8 – Determinação do Poder Calorífico	67
<i>CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</i>	70
5.1. Resultados Obtidos nos Ensaio de Campo e Laboratório	70
5.1.1. Identificação dos Resíduos	70
5.1.2. Coleta e Amostragem	70
5.1.3. Ensaio de Caracterização Físico-Química das Amostras de RSU	71
5.1.3.1. Caracterização Gravimétrica dos RSU	71
5.1.3.2. Teor de Umidade	82
5.1.3.3. Distribuição dos Grupos de Materiais	86
5.1.3.4. Caracterização Morfológica dos Grupos de Materiais dos RSU	87
5.1.3.5. Teor de Sólidos Voláteis.....	92

5.1.3.6. Poder Calorífico.....	93
<i>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</i>	<i>101</i>
<i>6.1. Considerações Finais</i>	<i>101</i>
<i>6.2. Conclusões</i>	<i>102</i>
<i>6.3. Sugestões para Futuras Pesquisas.....</i>	<i>103</i>
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>104</i>
<i>ANEXO 1 – Versão Traduzida da Norma Alemã DGGT E 1-7 GDA</i>	<i>113</i>
<i>ANEXO 2 – Aterro Sanitário da CTR-NI.....</i>	<i>120</i>
<i>APÊNDICE 1 – Coleta Convencional de Nova Iguaçu</i>	<i>122</i>
<i>APÊNDICE 2– Resultados da Análise Gravimétrica dos RSU de NI.....</i>	<i>124</i>
<i>APÊNDICE 3 – Cálculos dos Percentuais Crescentes de Reciclagem</i>	<i>127</i>

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1: PRODUÇÃO PER CAPITA DE RSU DOMICILIAR (KG/DIA), EM FUNÇÃO DA EXISTÊNCIA DE BALANÇA, SEGUNDO OS ESTRATOS POPULACIONAIS DOS MUNICÍPIOS (IBGE, 2002).	8
FIGURA 2.2: A- DIMENSÃO 0. B- DIMENSÃO 1. C- DIMENSÃO 2. D- DIMENSÃO 3 (MODIFICADO DE BORGATTO, 2006).	14
FIGURA 2.3: VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE - SÉRIE HISTÓRICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO (MODIFICADO DE COMLURB, 2009).	15
FIGURA 2.4: VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO RSU COM A PROFUNDIDADE, ATERRO ANO LIOSSIA, ATENAS (GRÉCIA), (COUMOULOS <i>ET AL.</i> , 1995).	17
FIGURA 2.5: VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO RSU COM A PROFUNDIDADE, ATERRO DA MURIBECA, RECIFE (BRASIL), (MARIANO & JUCÁ, 1998).	17
FIGURA 2.6: PERCENTUAL DO VOLUME DE RSU COLETADO, POR TIPO DE DESTINO FINAL, SEGUNDO OS ESTRATOS POPULACIONAIS DOS MUNICÍPIOS (IBGE, 2002).	24
FIGURA 2.7: EMISSÕES DE METANO POR TIPO DE RESÍDUO (EPE, 2008).	26
FIGURA 2.8: RECUPERAÇÃO DE GÁS DO RSU (OLIVEIRA, 2004A).	31
FIGURA 2.9: ESQUEMA REPRESENTATIVO DAS CÂMARAS DE COMBUSTÃO (OLIVEIRA, 2004A).	34

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU E DA REGIÃO METROPOLITANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.	36
FIGURA 3.2: DISTRIBUIÇÃO DOS FUNDOS DE VALE DO ATERRO DA CTR-NI (BORTOLAZZO, 2010).	38
FIGURA 3.3: UNIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE DA CTR-NI (OLIVEIRA, 2004B).	39
FIGURA 3.4: A- MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO. B- SISTEMA INFORMATIZADO DE PESAGEM E CONTROLE. C- LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE RESÍDUOS (NOVA GERAR, 2003).	39
FIGURA 3.5: A- VISTA DA ÁREA DE DESCARGA COM DUPLA CAMADA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE BASE. B- IMPERMEABILIZAÇÃO DE BASE – MANTA DE PEAD (OLIVEIRA, 2004B).	40

FIGURA 3.6: DRENO VERTICAL DE BIOGÁS DO ATERRO DA CTR NOVA IGUAÇU.....	41
FIGURA 3.7: ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE JACAREPAGUÁ, RJ.....	44
FIGURA 3.8: MAPA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO SUBDIVIDIDO EM ÁREAS DE PLANEJAMENTO E REGIÕES ADMINISTRATIVAS (IPP, 2004).....	46

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1: A- CHEGADA DO CAMINHÃO. B- RSU DESPEJADOS NO ATERRO DA CTR-NI.	49
FIGURA 4.2: PESAGEM DOS CONTÊINERES.	49
FIGURA 4.3: PROCEDIMENTO DE QUARTEAMENTO PARA AMOSTRAGEM – AMOSTRA 1....	50
FIGURA 4.4: A- BALANÇA ELETRÔNICA, MARCA SARTORIUS – MODELO E2000D, COM CAPACIDADE DE 1 KG. B- BALANÇA ELETRÔNICA, MARCA MICHELETTI – MODELO MIC 50, COM CAPACIDADE DE 50 KG.	51
FIGURA 4.5: B- BALANÇA ELETRÔNICA, MARCA CONFIANTEC – MODELO 312E, COM CAPACIDADE DE 500 KG, (UNIDADE DE TRATAMENTO DE RSS – CTR-NI).	51
FIGURA 4.6: ESTUFAS.	52
FIGURA 4.7: A- MUFLA, MARCA FORNITEC – MODELO 1188. B- PROCESSADOR DE ALIMENTOS.....	52
FIGURA 4.8: A- SÉRIE DE PENEIRAS GRANULOMÉTRICA (1”, ¾”, 3/8”, 4, 8, 10). B- AGITADOR, MARCA PRODUTEST – MODELO 4219.	52
FIGURA 4.9: A- PENEIRA COM MALHA DE 8 MM - 5/16”. B- PENEIRA COM MALHA DE 40 MM - 1 ½”.....	53
FIGURA 4.10: A- PENEIRA Nº 20 – ABERTURA DE 0,84 MM. B- CONTÊINER – 240 LITROS.	53
FIGURA 4.11: BOMBA CALORIMÉTRICA AUTOMÁTICA, MARCA IKA – MODELO C200.	53
FIGURA 4.12: METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RSU.	55
FIGURA 4.13: SEPARAÇÃO DOS MATERIAIS EM FRAÇÕES.	56
FIGURA 4.14: TRIAGEM DOS RSU EM FRAÇÕES.	57
FIGURA 4.15: A- FRAÇÃO: BORRACHA. B- FRAÇÃO: METAIS NÃO FERROSOS.....	57
FIGURA 4.16: A- FRAÇÃO: OUTROS. B- FRAÇÃO: VIDRO.....	58
FIGURA 4.17: FRAÇÃO: PAPEL/PAPELÃO.....	58
FIGURA 4.18: A- FRAÇÃO: PLÁSTICO DURO. B- FRAÇÃO: PLÁSTICO MACIO.....	59
FIGURA 4.19: A- FRAÇÃO: TRAPO. B- FRAÇÃO: MATÉRIA ORGÂNICA.....	59
FIGURA 4.20: A- TRANSFERÊNCIA DAS AMOSTRAS PARA AS BANDEJAS. B- PESAGEM DA FRAÇÃO ESPUMA.....	60

FIGURA 4.21: SECAGEM DAS AMOSTRAS NA ESTUFA A UMA TEMPERATURA DE 50°C.....	60
FIGURA 4.22: A- FRAÇÃO PAPEL/PAPELÃO, FRALDA E COURO NA ESTUFA.....	61
FIGURA 4.23: FRAÇÃO CAPIM – SEQUÊNCIA DO PROCEDIMENTO DA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.	61
FIGURA 4.24: PEÇAS GRANDES (ATERRO DE NOVA IGUAÇU, 2010).....	62
FIGURA 4.25: A- PAPEL/PAPELÃO. B- PLÁSTICO DURO.	62
FIGURA 4.26: A- MINERAIS. B- ORGÂNICO.	63
FIGURA 4.27: PLÁSTICO MACIO.	63
FIGURA 4.28: A- METAIS. B- MADEIRA.	63
FIGURA 4.29: DIMENSÃO 0 – CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA POR GRUPOS DE MATERIAIS.	64
FIGURA 4.30: DIMENSÃO 1 – CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA POR GRUPOS DE MATERIAIS.	64
FIGURA 4.31: DIMENSÃO 2 – CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA POR GRUPOS DE MATERIAIS.	64
FIGURA 4.32: DIMENSÃO 3 – CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA POR GRUPOS DE MATERIAIS.	65
FIGURA 4.33: RÉGUA DE 500 MM.....	65
FIGURA 4.34: A- PENEIRAMENTO COM SÉRIE DE PENEIRAS GRANULOMÉTRICAS. B- PESAGEM DO RESÍDUO PASSANTE DA PENEIRA 8. C- FRAÇÃO NÃO PASSANTE DA PENEIRA 5/16” (CLASSIFICAÇÃO POR TAMANHO DA PEÇA).	66
FIGURA 4.35: A- RESÍDUOS APÓS TRITURAÇÃO. B- PENEIRAMENTO EM MALHA DE 0,84MM DE ABERTURA.	67
FIGURA 4.36: CÁPSULA DE PORCELANA NA MUFLA A 550°C.	67
FIGURA 4.37: A- DIMINUIÇÃO DO TAMANHO DAS FRAÇÕES. B- AMOSTRAS DE MADEIRA E FIBRA, APÓS DIMINUIÇÃO DE TAMANHO.....	68
FIGURA 4.38: AMOSTRAS APÓS TEREM SIDO PICADAS E/OU TRITURADAS.	68
FIGURA 4.39: DESENHO ESQUEMÁTICO DA BOMBA CALORIMÉTRICA (CIAMPI, 1992)....	69
FIGURA 4.40: A- AMOSTRA DE RSU NO CADINHO. B- CADINHO INSERIDO NA CÁPSULA DE METAL.	69
 CAPÍTULO 5	
FIGURA 5.1: DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES EM ORGÂNICOS E INORGÂNICOS DO TOTAL DE AMOSTRAS DE NOVA IGUAÇU.	72

FIGURA 5.2: DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS FRAÇÕES DOS RSU DE NOVA IGUAÇU EM CLASSES SOCIAIS.	74
FIGURA 5.3: AMOSTRA 9 - RSU DA ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO CAJU.....	74
FIGURA 5.4: AMOSTRA 10 - RSU DA ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO CAJU.....	75
FIGURA 5.5: AMOSTRA 11 - RSU DA ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE JACAREPAGUÁ. .	75
FIGURA 5.6: FRAÇÕES RECICLÁVEIS DOS RSU DA ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO CAJU.	76
FIGURA 5.7: FRAÇÕES RECICLÁVEIS DOS RSU DA ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE JACAREPAGUÁ.....	76
FIGURA 5.8: DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES EM ORGÂNICOS E INORGÂNICOS DO TOTAL DE AMOSTRAS DO RIO DE JANEIRO.	78
FIGURA 5.9: TEOR DE UMIDADE OBTIDO NA AMOSTRA 04.....	84
FIGURA 5.10: TEOR DE UMIDADE OBTIDO NA AMOSTRA 06.....	84
FIGURA 5.11: TEOR DE UMIDADE OBTIDO NA AMOSTRA 07.....	85
FIGURA 5.12: TEOR DE UMIDADE OBTIDO NA AMOSTRA 09.....	85
FIGURA 5.13: GRÁFICO DAS MÉDIAS DOS GRUPOS DE MATERIAIS DOS RSU, SEGUNDO A NORMA DGGT (1994).	86
FIGURA 5.14: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – PLÁSTICO DURO.	87
FIGURA 5.15: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – PLÁSTICO MACIO.....	88
FIGURA 5.16: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – ORGÂNICO.....	88
FIGURA 5.17: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – PAPEL/PAPELÃO.	89
FIGURA 5.18: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – METAIS.....	89
FIGURA 5.19: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – MADEIRA.....	90
FIGURA 5.20: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO GRUPO DE MATERIAL – MINERAIS.....	90
FIGURA 5.21: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DOS RSU.	91
FIGURA 5.22: RESULTADOS DO TEOR DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DOS RSU DE NOVA IGUAÇU.	93
FIGURA 5.23: VALORES MÉDIOS DE PODER CALORÍFICO DAS AMOSTRAS HOMOGENEIZADAS.	94
FIGURA 5.24: PODER CALORÍFICO DAS AMOSTRAS HOMOGENEIZADAS E DAS FRAÇÕES DOS RSU.	97

FIGURA 5.25: CONDIÇÕES CRESCENTES DE RECICLAGEM ASSOCIADA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	99
FIGURA 5.26: ESTIMATIVA DO NÚMERO DE RESIDÊNCIAS QUE PODEM SER ABASTECIDAS COM CONDIÇÕES CRESCENTES DE RECICLAGEM.	100

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 2.1: COMPONENTES DOS RSU E SEUS GRUPOS (COMLURB, 2005).	12
TABELA 2.2: COMPARAÇÃO DAS PRINCIPAIS OPÇÕES DE TECNOLOGIA DE TRATAMENTO/DISPOSIÇÃO DOS RSU: ATERRO, COMPOSTAGEM E INCINERAÇÃO (CHENG & HU, 2010).	21
TABELA 2.3: TEOR DE MATERIAL PUTRESCÍVEL NOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS E ESTRANGEIRAS (MODIFICADO DE MANASSERO <i>ET AL.</i> , 1996; LI'AO <i>ET AL.</i> , 2009).	22
TABELA 2.4: ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE METANO EM ATERROS SANITÁRIOS (MODIFICADO DE MUYLEAERT <i>ET AL.</i> , 2000).	26
TABELA 2.5: CONCENTRAÇÕES DE GEE NA ATMOSFERA (OLIVEIRA, 2004A).	27
TABELA 2.6: POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL RELATIVO AO CO ₂ (IPCC, 1996)..	28

CAPÍTULO 3

TABELA 3.1: SETORES DE PLANEJAMENTO INTEGRADO E UNIDADES REGIONAIS DE GOVERNO DO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU.....	36
TABELA 3.2: INFORMAÇÕES SOBRE QUANTIDADES DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E PÚBLICOS COLETADOS NO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU, 2007 (MODIFICADO DO SNIS, 2009).	37
TABELA 3.3: QUANTITATIVO DE RESÍDUOS DEPOSITADOS POR ORIGEM NO ATERRO DA CTR - NOVA IGUAÇU NOS ANOS DE 2003 A 2010. (MODIFICADO DA HAZTEC, 2010).	42
TABELA 3.4: QUANTITATIVO DE RSU: 1998/2007 – MÉDIA DIÁRIA (COMLURB, 2008).	44

CAPÍTULO 5

TABELA 5.1: IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CLASSE IIA*, CONSIDERADOS HOMOGÊNEOS, DE ONDE FORAM RETIRADAS AS AMOSTRAS PARA OS ENSAIOS.....	70
TABELA 5.2: PESO DAS AMOSTRAS QUARTEADAS PARA O ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA, CLASSE SOCIAL E DATA DO ENSAIO.	71

TABELA 5.3: COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DO CAJU.....	79
TABELA 5.4: COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE JACAREPAGUÁ.....	80
TABELA 5.5: CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RSU DE NOVA IGUAÇU E RIO DE JANEIRO PROVENIENTES DA COLETA CONVENCIONAL.....	81
TABELA 5.6: TEOR DE MATERIAIS ORGÂNICOS NOS RSU DE ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS E ESTRANGEIRAS.	82
TABELA 5.7: TEOR DE UMIDADE GLOBAL.	83
TABELA 5.8: TEOR DE UMIDADE DAS FRAÇÕES ENCONTRADAS NAS AMOSTRAS DE RSU.	83
TABELA 5.9: GRUPOS DE MATERIAIS DOS RSU, SEGUNDO NORMA DGGT (1994).....	86
TABELA 5.10: CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DOS RSU.	91
TABELA 5.11: TAMANHO DAS FRAÇÕES DOS RSU (%).	92
TABELA 5.12: RESULTADOS DE PODER CALORÍFICO DAS AMOSTRAS HOMOGENEIZADAS.	93
TABELA 5.13: PODER CALORÍFICO POR FRAÇÕES DA AMOSTRA 06 - NOVA IGUAÇU/CLASSE C.	95
TABELA 5.14: PODER CALORÍFICO POR FRAÇÕES DA AMOSTRA 09 – RIO DE JANEIRO.	95
TABELA 5.15: VALORES ESTIMADOS DE PODER CALORÍFICO POR FRAÇÕES – AMOSTRA 4.	96
TABELA 5.16: VALORES ESTIMADOS DE PODER CALORÍFICO POR FRAÇÕES – AMOSTRA 7.	96
TABELA 5.17: VALORES MÉDIOS MENSIS DE RSU DE NI E RJ E RESULTADOS DE PODER CALORÍFICO.	97
TABELA 5.18: ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA.	98
TABELA 5.19: ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM A RECICLAGEM DOS RSU.	98

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação

Atualmente, a problemática ambiental da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), em face de sua complexidade e diversidade, constitui um sério desafio a ser enfrentado, considerando que o crescimento populacional e o aumento do grau de urbanização não têm sido acompanhados com as medidas necessárias para dar um destino adequado ao RSU produzido (COELHO, 2000). Entre as fontes de degradação ambiental, os resíduos sólidos gerados oferecem risco potencial ao ambiente. Essa questão tem sido cada vez mais objeto de preocupação de órgãos de saúde e ambientais, prefeituras, técnicos e pesquisadores da área, pois o crescimento acelerado das metrópoles faz com que as áreas disponíveis para a destinação dos resíduos sólidos urbanos se tornem escassas (SISINNO & OLIVEIRA, 2000).

A situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil ainda é precária, uma vez que existem cerca de 4.000 lixões em operação, os quais são responsáveis pela contaminação do meio ambiente (MARIANO *et al.*, 2007).

Diante da problemática da gestão dos RSU, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecida como Rio 92, com a Agenda 21 Global, reconheceu a importância do tratamento e disposição final adequados dos resíduos sólidos urbanos na tentativa de deter e inverter os efeitos da degradação do meio ambiente. Na Agenda 21 foi incorporado o capítulo 21, cujo tema é “Manejo Ambientalmente Saudável dos Resíduos e Questões Relacionadas com os Esgotos”. Foram definidos quatro programas relacionados aos resíduos: (a) Redução ao mínimo dos resíduos; (b) Aumento ao máximo da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos; (c) Promoção do depósito e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos; (d) Ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos (SENADO FEDERAL, 2000).

Seguindo este exemplo, a nível nacional, a Lei N° 12.305, de 02 de Agosto de 2010 (BRASIL, 2010), institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e define por destinação final ambientalmente adequada: a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária. Para a PNRS somente os rejeitos – material restante dos processos de

tratamento – devem ser dispostos em aterros sanitários. Essa disposição precisa ser ordenada, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Neste sentido, muitos países vêm adotando, além da técnica da reciclagem, a incineração, porque além de reduzir substancialmente o volume de resíduo sólido urbano a ser disposto nos aterros sanitários, a energia contida na massa dos materiais pode ser aproveitada na geração de energia térmica e elétrica durante sua combustão, tornando-se uma prática interessante do ponto de vista ambiental.

A utilização de tecnologias para tratamento baseadas na possibilidade de tratar os resíduos e, concomitantemente, gerar energia, se apresenta relevante, tendo a qualidade fundamental de redução do passivo ambiental para as gerações futuras. Desta forma, o conhecimento do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos é fundamental para a elaboração de projetos para tratamento e geração de energia.

A alternativa de aproveitamento energético dos gases gerados da combustão dos resíduos sólidos urbanos, associada à comercialização dos créditos de carbono, contribui para a solução sustentada da gestão dos RSU. Tal mecanismo pode ser utilizado como alavanca estratégia para erradicar os lixões abertos e incentivar soluções sustentáveis para o problema dos RSU presente principalmente nos países subdesenvolvidos.

Desta forma, faz-se necessária a criação de sistemas integrados de gestão ambiental e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Os termos gestão e gerenciamento, em geral, adquirem conotações distintas para grande parte dos técnicos que atuam na área de resíduos sólidos urbanos, embora possam ser empregados como sinônimos. O termo gestão é utilizado para definir decisões, ações e procedimentos adotados em nível estratégico, enquanto o gerenciamento visa à operação do sistema de limpeza urbana (LIMA, 2001). A gestão e o gerenciamento são instrumentos importantes para que o impacto ambiental causado pelos resíduos sólidos urbanos seja cada vez menor. Porém, para que a gestão e gerenciamento funcionem, é fundamental conhecer as características dos RSU gerados. Sendo assim de grande importância o estudo da origem e composição dos resíduos de um município, visto que permite melhor estabelecer os procedimentos para a coleta, transporte, tratamento e sua disposição final.

A caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos é uma ferramenta importante para o dimensionamento do potencial de geração de energia nas usinas de incineração, já que classifica individualmente cada constituinte dos resíduos em peso e

em volume, e informa a quantidade da fração biodegradável existente dentro da massa de RSU. Os resultados que são normalmente obtidos de ensaios de caracterização estão baseados em teores de matéria orgânica, plásticos, metais, vidros, papel/papelão, entre outros.

1.2 – Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi estudar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos gerados em 2 (dois) municípios do Rio de Janeiro, e sua possível exploração como energia térmica e elétrica, podendo contribuir com o aumento da vida útil dos aterros sanitários e se inserir na matriz energética do país.

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

1. Estudar as características gravimétricas e morfológicas dos resíduos sólidos urbanos;
2. Avaliar o potencial de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, utilizando a tecnologia de incineração controlada;
3. Determinar o poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos, pelos métodos: ASTM D240-87 e DIN CEN/TS 15.400 (2006);
4. Estudar o potencial de geração de energia sob condições de percentuais crescentes de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos que chegam ao aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos - Nova Iguaçu.

1.3 – Estrutura da Dissertação

A presente pesquisa é composta por seis capítulos e está organizada da seguinte maneira:

- Capítulo 1 – *Introdução*: neste capítulo teve-se uma visão geral sobre os problemas causados pelos resíduos sólidos urbanos, a importância da reciclagem e os benefícios trazidos com o aproveitamento energético destes resíduos. E em seguida, foram apresentados os objetivos do estudo;
- Capítulo 2 – *Revisão Bibliográfica sobre Resíduos Sólidos*: este capítulo aborda os principais temas a cerca da geração, classificação, definição, características, gerenciamento, gestão e geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos;
- Capítulo 3 – *Área de Estudo*: descrição da área de trabalho;

- Capítulo 4 – *Materiais e Métodos*: apresenta-se a metodologia dos ensaios físico-químicos realizados com os resíduos sólidos urbanos;
- Capítulo 5 – *Apresentação e Análise dos Resultados*;
- Capítulo 6 – *Considerações, Conclusões e Sugestões para Futuras Pesquisas*.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Resíduos Sólidos Urbanos

2.1.1 – Definição e Classificação

De acordo com a definição da ABNT (2004) em sua norma NBR-10.004/2004, resíduos sólidos são:

“resíduos nos estados sólidos e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Ainda de acordo com a ABNT (2004) em sua norma NBR-10.004/2004, os resíduos sólidos são classificados em função da periculosidade em:

- Resíduo Classe I – Perigosos: apresentam risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. O ensaio de lixiviação, conforme a NBR 10.005 (ABNT, 2004), deve ser realizado na amostra. Caso algum parâmetro se apresente em concentração acima da máxima permitida (listagem F da NBR 10.004, 2004), o mesmo será considerado resíduo perigoso. Caso contrário, a amostra deve ser submetida ao ensaio de solubilização (NBR 10.006 – ABNT, 2004) para classificá-lo de acordo com as duas classes a seguir.
- Resíduo Classe II – Não Perigosos;
 - Resíduo Classe IIA – Não Inertes: são todos os resíduos não enquadrados na classe I - Perigosos ou classe IIB - Inertes e que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - Resíduo Classe IIB – Inertes: são todos os resíduos que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados, de acordo com padrões desta norma.

De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 005/93, os resíduos sólidos podem ser classificados nos seguintes grupos:

- Grupo A: resíduos que apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido à presença de agentes biológicos. Esse grupo é composto, principalmente, pelos resíduos de serviços de saúde;
- Grupo B: resíduos que apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente proveniente das características químicas. Como exemplos desse grupo são encontrados os resíduos farmacêuticos, as drogas quimioterápicas e, os demais produtos perigosos, classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004);
- Grupo C: resíduos radiativos - deverão obedecer às exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN);
- Grupo D: resíduos comuns, que não se enquadram nos grupos supracitados.

Outra forma de classificação utilizada é quanto à origem ou fonte geradora, que pode ser: domiciliar, comercial, industrial, de serviços de saúde, portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, agrícola, construção civil e limpeza pública. Dentro desta classificação está inserido o resíduo que alguns autores designam como resíduo sólido urbano (RSU). Por exemplo, Faria (2002) o conceitua como material heterogêneo constituído basicamente por resíduos domésticos, comerciais, industriais, de atividade pública e de serviços de saúde.

Torna-se muito difícil ter apenas um conceito para resíduo sólido urbano, pois a sua composição varia em função das características de cada cidade. A cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, conforme a Legislação Municipal de nº 3.273/2001 sobre a gestão do sistema de limpeza urbana do município divide os resíduos sólidos em dois tipos: resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos especiais (BRASIL, 2001).

Os resíduos sólidos urbanos abrangem: resíduo domiciliar ou doméstico; resíduos de poda de manutenção de jardim, pomar ou horta; entulho de pequenas obras de reforma, de demolição ou de construção em habitações familiares; resíduo público (parques, praias, avenidas, ruas e demais espaços públicos); resíduo proveniente de feira livre; resíduo de estabelecimentos comerciais, industriais ou de unidades de trato de saúde humana ou animal, cuja composição seja similar aos domiciliares. Os resíduos sólidos especiais abrangem, dentre outros, os lodos e lamas, com teor de umidade superior a 70%, oriundos de estações de tratamento de água, de esgotos sanitários, de fossas sépticas, postos de lubrificação de veículos ou assemelhados.

2.1.2 – Geração

Com o crescimento da população há, naturalmente, o aumento da quantidade de resíduos gerados. Porém, além das conseqüências diretas do aumento populacional, ocorre também uma mudança de hábitos da população, decorrentes do modelo de produção e consumo adotados, que se reflete em uma maior geração *per capita* de resíduos.

De acordo com Leite (2003), após a Segunda Guerra Mundial, o acelerado desenvolvimento tecnológico experimentado pela humanidade permitiu a introdução constante, e com velocidade crescente, de novas tecnologias e de novos materiais que contribuem para a melhoria da performance técnica para a redução de preços e do ciclo de vida útil de grande parcela de bens de consumo duráveis e semiduráveis. O acelerado ímpeto de lançamento de inovações no mercado cria um alto nível de obsolescência desses produtos e reduz o ciclo de vida, com clara tendência à descartabilidade.

O crescimento do consumo, principalmente nas grandes cidades brasileiras, pode ser observado a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada em 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que permitem uma estimativa sobre a quantidade coletada de resíduos diariamente. Nas cidades com até 200.000 habitantes, são recolhidos de 450 a 700 gramas por habitante e nas cidades com mais de 200 mil habitantes, essa quantidade aumenta para a faixa entre 800 e 1.200 gramas por habitante. Apenas 8,4%, dos municípios, em número, pesam efetivamente em balanças o resíduo coletado. Todavia, 64,7% dos RSU no Brasil são pesados, na medida em que as grandes cidades, que geram a maior parcela da produção de resíduos, dispõem deste equipamento de medição (Figura 2.1) (IBGE, 2002).

Em 2006, 97,1% dos resíduos gerados foram coletados nas cidades, entretanto, apenas 24,6% foram coletados no campo. Embora não sejam os valores ideais em nenhum dos casos, já é um avanço, uma vez que em 1992 apenas 79,7% e 6,7% dos resíduos foram coletados, respectivamente, nestes locais (IBGE, 2008).

Segundo Rose (2009), o percentual de resíduos com destino inadequado é muito maior do que o citado na pesquisa, uma vez que nesta pesquisa foram computados apenas os dados de resíduos coletados, não levando em conta os resíduos descartados antes de serem coletados.

Segundo o relatório do IPCC/ONU de 2007 sobre mudanças climáticas, as emissões do gás metano resultante da degradação da matéria orgânica em aterros e lixões totalizam algo em torno de 5% das emissões globais de gases do efeito estufa.

Diante deste cenário, faz-se necessário investir na erradicação dos lixões e no tratamento dos resíduos sólidos. Outros pontos estratégicos concentram-se na prevenção da poluição, educação ambiental, e emprego do princípio dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar). Tudo isso tem como objetivo diminuir a quantidade de resíduos que irá para os aterros sanitários.

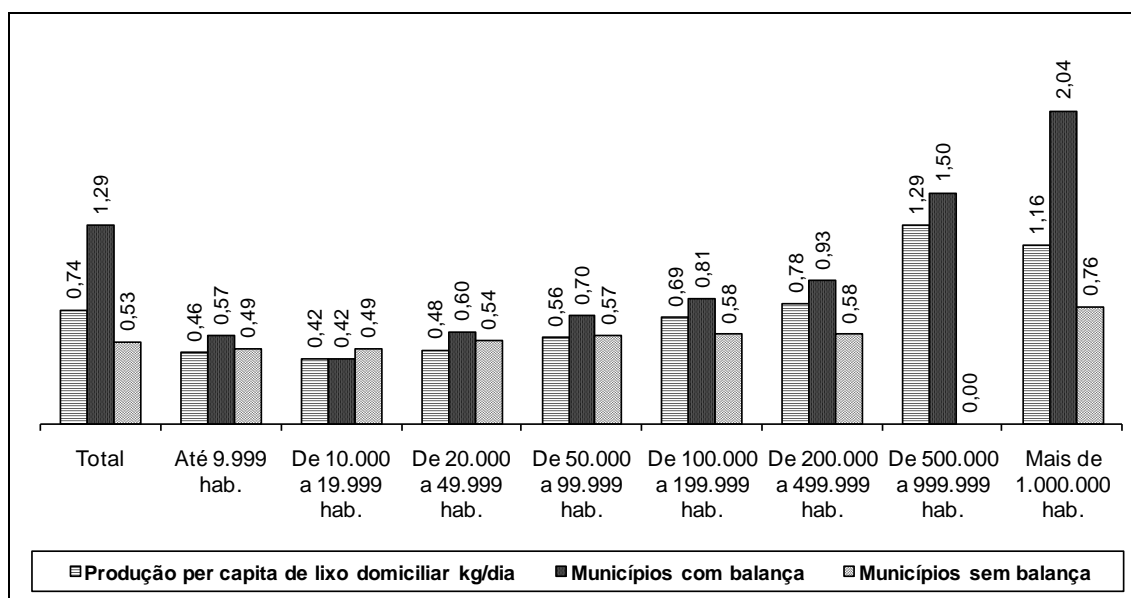


Figura 2.1: Produção per capita de RSU domiciliar (kg/dia), em função da existência de balança, segundo os estratos populacionais dos municípios (IBGE, 2002).

2.2 – Características dos Resíduos Sólidos Urbanos

As características dos resíduos sólidos urbanos variam de cidade para cidade, e também variam em função de diversos fatores, como o porte da cidade, a atividade, os hábitos da população, o clima e o nível educacional. As características dos RSU vão se modificando com o decorrer dos anos, tornando necessários programas de caracterização periódicos, de preferência ao longo do ano, em função do número de habitantes da cidade, visando à atualização destes dados e a adaptação do sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos a estas transformações.

As características dos resíduos sólidos urbanos podem ser reunidas em três grupos, a saber: características biológicas, químicas e físicas.

Destes três grupos, aquele que mais interfere no dimensionamento do sistema de coleta e disposição, considerando eventualmente a existência de um programa de coleta seletiva e reciclagem, é o das características físicas, por influenciar em vários aspectos da gestão dos resíduos sólidos urbanos.

2.2.1 – Consequências Práticas Decorrentes dos Processos Biológicos em Aterros

As transformações biológicas promovem a degradação de muitos componentes sólidos, em biogás e em líquidos, acarretando uma redução no volume dos RSU depositados e variações em suas propriedades geotécnicas ao longo do tempo.

A biodegradação é a propriedade biológica mais importante da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, a qual consiste na transformação dos componentes orgânicos complexos, com o tempo e em condições de anaerobiose, em biogás, em líquidos, em matéria orgânica mineralizada e em compostos orgânicos mais simples.

Os componentes orgânicos são utilizados no aterro como substrato por um número de diferentes microorganismos capazes de estabilizar e de converter a matéria orgânica facilmente degradável em subprodutos.

Do ponto de vista geotécnico, a degradação dos resíduos altera o comportamento dos aterros sanitários. Por exemplo, como resultado da contínua perda de massa da fase sólida do RSU, tem-se o aumento da densidade e a conseqüente diminuição da permeabilidade e da compressibilidade do aterro (EDGERS *et al.* 1992; WALL & ZEISS, 1995; SIMÕES *et al.* 1996). Além disso, a degradação pode modificar a resistência ao cisalhamento do resíduo devido ao enfraquecimento do efeito reforço dado pela presença de materiais plásticos, têxteis e fibras.

2.2.2 – Propriedades Químicas

Os RSU são muito heterogêneos, pois consistem de frações de diversos tamanhos com diferentes composições, sendo estas muito específicas. Isso faz com que a caracterização química dos resíduos sólidos urbanos seja muito difícil e cara (RIBER *et al.*, 2007).

O conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final. Como propriedades químicas dos resíduos, temos:

- *Poder Calorífico*: indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor, quando submetido à queima, sendo extremamente importante nos processos de tratamento térmico dos resíduos. O método de medição do poder calorífico baseia-se no balanço de energia, na combustão completa da amostra, em geral com oxigênio puro, a volume constante, e na transferência de calor para a água do calorímetro. A diferença

entre o poder calorífico superior (PCS) e o inferior (PCI) resulta da consideração do estado final da mistura de gases de combustão e do vapor d'água que se forma na queima de substâncias hidrogenadas. O PCS é a soma do valor total da energia libertada na forma de calor e da energia gasta na vaporização da água presente ou formada por uma amostra sólida ou líquida. Este é calculado a partir da massa da amostra, poder calorífico do sistema e do aumento da temperatura da água no interior da bomba. Já o PCI é igual ao PCS, descontado da energia de condensação da água que estava contida na amostra.

- *Composição Química*: consiste na determinação dos teores de cinzas, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, enxofre, matéria orgânica, resíduo mineral total e resíduo mineral solúvel, presentes nos resíduos sólidos urbanos;
- *Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)*: indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos RSU nos processos de tratamento e disposição final;
- *Potencial Hidrogeniônico (pH)*: indica o teor de alcalinidade ou acidez da massa de resíduos sólidos urbanos. O pH está relacionado com a velocidade de degradação e estabilização da matéria orgânica nos resíduos.
- *Teor de Sólidos Totais Voláteis*: pela determinação do teor de sólidos totais voláteis determina-se a percentagem de cinzas e a quantidade de matéria orgânica existente no resíduo sólido. Portanto, esse parâmetro pode ser um indicador da degradabilidade dos RSU ao longo do tempo. Um alto percentual de sólidos totais voláteis (STV) indica a presença de muita matéria orgânica a ser degradada e baixos valores podem indicar que o resíduo já passou por um processo acentuado de degradação. A determinação dos STV é de suma importância para o acompanhamento das alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas da massa de RSU depositada no aterro.

2.2.3 – Propriedades Físicas

2.2.3.1. Composição Gravimétrica

Para haver uma melhor gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos dos municípios brasileiros, primeiramente, é preciso conhecer o que é gerado. Para isto, a caracterização gravimétrica do mesmo é de primordial importância.

Segundo a ABNT- NBR 10.007/2004, a caracterização gravimétrica é a:

“determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico”.

Segundo a COMLURB (2009), a caracterização de resíduos sólidos urbanos se apresenta como uma ferramenta essencial para se definir o que fazer com os mesmos, desde a coleta até o seu destino final, de forma sanitária, ambientalmente correta e economicamente viável, bem como dimensionar a quantidade de RSU produzido em cada área e gerar dados que definirão metas e modelos de gestão.

Estudos de caracterização de resíduos também são utilizados para auxiliar no planejamento e no desenvolvimento de políticas, e para o dimensionamento de decisões para uma gestão integrada de resíduos sólidos (CIWMB, 2004).

O conhecimento da composição gravimétrica permite uma avaliação preliminar da degradabilidade, do poder de contaminação ambiental, das possibilidades de reutilização, reciclagem, valorização energética e orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Sendo, portanto, de grande importância na definição das tecnologias mais adequadas ao tratamento e disposição final dos resíduos.

No tocante aos fatores que podem interferir no resultado final da pesquisa de caracterização, devem-se considerar, por exemplo, a sazonalidade, que pode levar a conclusões equivocadas quanto a real contribuição de um determinado parâmetro no total do RSU gerado na cidade. É fácil imaginar que em época de chuvas fortes o teor de umidade no RSU tenda a crescer. O mesmo acontece com o percentual de latinhas de cerveja e de vidro no carnaval ou ainda com o número de folhas de árvores recolhidas no outono. A escolha da época certa para a realização da coleta e a sua repetitividade ao longo dos anos é o que dá confiança e reprodutibilidade aos dados obtidos.

Castro (1996) reporta que

“a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares é a primeira e mais importante etapa para qualquer trabalho referente a tais resíduos, quer seja no planejamento da limpeza urbana, na orientação e determinação do sistema mais adequado para o tratamento e disposição”.

De acordo com Mancini (2001), independente da coleta ser comum ou seletiva, estudos sobre a composição percentual dos resíduos sólidos urbanos são muito

importantes para os aspectos sanitário e social. Estes podem fornecer dados do quantitativo de resíduos que podem ser reciclados, de modo a verificar a viabilidade econômica do processo.

A composição gravimétrica constitui uma informação importante na compreensão do comportamento dos resíduos, e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos. Esses estudos contribuem, ainda, para o monitoramento ambiental, na compreensão do processo de decomposição dos resíduos e na estimativa de vida útil da área.

A composição do RSU é muito heterogênea e pode variar de pequenos materiais orgânicos até grandes materiais inorgânicos. Na Tabela 2.1 podem-se observar os diversos componentes da parte sólida dos RSU. Além disso, existe uma variação significativa na percentagem dos principais componentes do RSU de uma região para outra, a qual, geralmente, está relacionada com os níveis de desenvolvimento econômico, tecnológico, sanitário e cultural dessas regiões e com as práticas de reciclagem, incineração e os hábitos de desperdícios da sociedade. Em geral, a composição do RSU em locais menos desenvolvidos sócio-economicamente apresenta-se com maior percentagem de matéria orgânica quando comparada com locais mais desenvolvidos.

Tabela 2.1: Componentes dos RSU e seus grupos (COMLURB, 2005).

<i>Grupo</i>	<i>Componente</i>
Papel	Papel, Papelão
Plástico	Plástico Duro, Plástico Filme
Vidro	Vidro Claro, Vidro Escuro
Orgânico	Matéria Orgânica, Agregado Fino
Metal	Metal Ferroso, Metal Não Ferroso
Inerte	Pedra, Louça/Cerâmica
Outros	Folha, Madeira, Borracha, Têxteis, Couro, Ossos

No Brasil, o percentual de matéria orgânica dos RSU varia entre 50 e 60%, típico de países em desenvolvimento. Este alto teor orgânico propicia, entre outros fatores, um elevado teor de umidade aos resíduos.

A composição gravimétrica dos RSU tende a se alterar ao longo do tempo em função da deterioração da matéria orgânica.

2.2.3.2. Distribuição do Tamanho das Partículas

Devido à grande heterogeneidade e variedade dos resíduos sólidos urbanos, a determinação da dimensão e distribuição das partículas dos resíduos fica limitada. A determinação da distribuição do tamanho dos componentes dos RSU é comumente realizada utilizando-se a análise granulométrica clássica da mecânica dos solos, devido à falta de um método padronizado para os resíduos sólidos urbanos.

A grande faixa de variação da distribuição do tamanho das partículas é o resultado da composição variada dos resíduos sólidos urbanos. O tamanho típico das partículas varia entre pedregulho e finos, sendo esta fração com valores menores que 20% ($< 0,075\text{mm}$) (SANTOS & PRESA, 1995). O percentual de materiais com granulação mais fina tende a aumentar com o aumento da idade do RSU, como resultado da biodegradação do material orgânico.

2.2.3.3. Distribuição dos Grupos de Materiais

A distribuição dos grupos de materiais consiste na separação das amostras de RSU. Estes são escolhidos de tal maneira que cada grupo de material isolado apresente características de materiais similares com referência ao comportamento mecânico e estabilidade bioquímica. Segundo a norma alemã DGGT (1994) (Anexo 1), os grupos de materiais são:

- Peças grandes: materiais residuais de grande porte, que são compostas de diversos componentes;
- Papel/Papelão: materiais residuais compostas basicamente de papel ou fibras semelhantes ao papel, como papelão, embalagens de papel, tapetes, fraldas, etc.;
- Plásticos macios: despejos que se componham basicamente de materiais sintéticas macias ou cujas características sejam dominadas por tais materiais, como embalagens plásticas macias, lâminas, têxteis, borracha macia, couro macio, entre outros;
- Plásticos duros: despejos que se componham basicamente de materiais sintéticas duras, como embalagens plásticas rígidas, copos de iogurte, garrafas PET, plásticos rígidos, couro duro, borracha rígida, etc.;
- Metais: metais ferrosos e não ferrosos;
- Minerais: despejos que se componham basicamente de materiais minerais ou que apresentem um comportamento mecânico ou biológico similares (inertes) como vidro, cerâmica, solo, etc.;

- Madeira;
- Orgânico: despejos que sejam de origem natural, orgânica, como: vegetais, plantas, folhas secas.

A distribuição dos grupos de materiais, segundo a norma DGGT (1994), apresenta diferenças com relação à distribuição dos materiais na caracterização gravimétrica, segundo a norma do IPT/CEMPRE (2000). Esta diferença pode ser observada no grupo de material plástico macio (DGGT, 1994), já que diversos materiais podem o compor, como: têxteis, borrachas macias, couro macio, além do plástico macio. Na caracterização gravimétrica, segundo a norma do IPT/CEMPRE (2000), cada material apresentado seria uma fração diferente.

2.2.3.4. Caracterização Morfológica dos RSU

Segundo a norma DGGT (1994) a caracterização morfológica dos RSU tem o intuito de classificar os resíduos quanto à sua forma e medida no tocante às características relevantes para a mecânica dos resíduos. Esta consiste na separação dos resíduos sólidos urbanos de acordo com a sua dimensão geométrica. Cada grupo de material é submetido a uma dimensão geométrica considerando-se os seguintes parâmetros (Figura 2.2):

- Dimensão 0: Grãos (sem comprimento lateral, com partículas ≤ 8 mm);
- Dimensão 1: Fibras (um lado comprido, comparado aos outros lados);
- Dimensão 2: Folhas, objetos planos (dois lados compridos em relação ao terceiro lado);
- Dimensão 3: Volumes/Caixas (3 lados compridos).

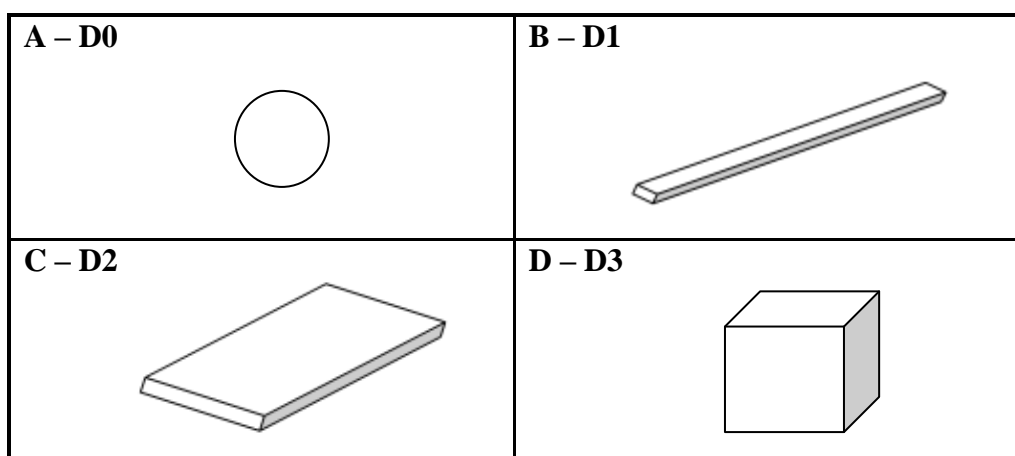


Figura 2.2: A- Dimensão 0. B- Dimensão 1. C- Dimensão 2. D- Dimensão 3 (modificado de BORGATTO, 2006).

2.2.3.5. Teor de Umidade

O teor de umidade do resíduo sólido urbano depende da composição inicial do material, das condições climáticas locais, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica, da capacidade e funcionamento dos sistemas de coleta de lixiviado e do sistema de *liner* de recobrimento. No aterro sanitário, o teor de umidade pode variar significativamente entre um ponto e outro, tornando-se relevante a obtenção do perfil de umidade com a profundidade, o qual pode ser obtido com sonda de nêutrons ou secagem de amostras representativas em estufa. Pode-se usar estufa com temperatura de 50 a 65°C para a secagem das amostras de RSU. O teor de umidade pode ser determinado tanto em base seca como em base úmida.

Os altos teores de umidade dos resíduos sólidos urbanos são basicamente provenientes dos materiais orgânicos (resíduos alimentares, de jardim e poda). Os componentes inorgânicos, tais como, metais e vidros, geralmente têm um teor de umidade abaixo de 10%.

O teor de umidade tem influência direta sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem, na produção de biogás, no poder calorífico, no peso específico aparente do RSU e na produção de lixiviado, sendo assim, seu conhecimento é de extrema importância para projetos de incineração controlada.

A partir da série histórica do município do Rio de Janeiro é possível observar como o teor de umidade vem variando ao longo dos anos, tendo como tendência a queda. No período compreendido entre 2007 e 2009 houve uma queda brusca dos teores de umidade, passando de 65% para 40%. Essa queda pode ser explicada pelo aumento do consumo de bens industrializados secos, como o plástico, isopor e papel, contidos nas diversas embalagens, e pela diminuição da quantidade de matéria orgânica no RSU do município (Figura 2.3).

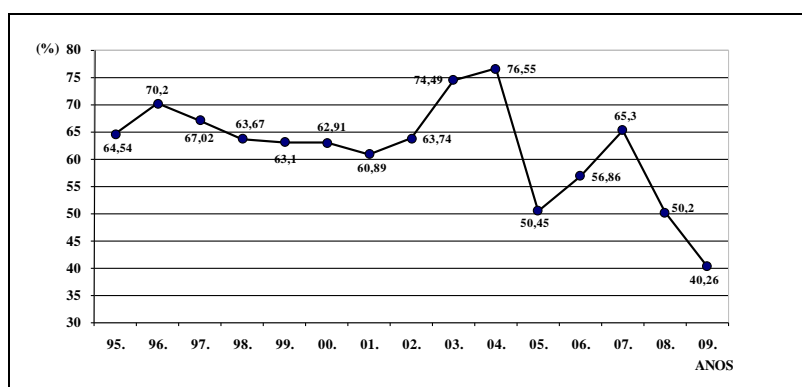


Figura 2.3: Variação do teor de umidade - série histórica do município do Rio de Janeiro (modificado de COMLURB, 2009).

2.2.3.6. Peso Específico

A relação entre o peso e o volume unitário na massa de resíduos representa o peso específico, sendo que seu valor varia de acordo com a etapa considerada, ou seja, desde sua geração até o destino final nos aterros, variando também com o tempo.

A composição gravimétrica e granulométrica, o volume da camada de cobertura diária e o grau de compactação durante a deposição influenciam diretamente no peso específico dos resíduos sólidos urbanos.

O grau de compactação é fator preponderante no valor do peso específico, podendo-se afirmar que, de uma maneira geral, os valores encontrados podem variar de 3,0 a 7,0 kN/m³ para aterros com material simplesmente espalhado, até valores de 9,0 a 13,0 kN/m³ quando aplicada uma compactação controlada, utilizando-se tratores de esteira ou rolos de compactação apropriados (DE LAMARE NETO, 2004).

O valor do peso específico está diretamente relacionado à sua composição gravimétrica, visto que quanto maior for à quantidade de componentes leves (papel, papelão, plásticos) ou quanto menor for à quantidade de matéria orgânica, menor será seu valor. Em áreas de maior poder aquisitivo, com maior consumo de materiais supérfluos, o peso específico dos RSU é menor, quando comparado as áreas de menor poder aquisitivo, com maior descarte de matéria orgânica

2.2.3.7. Permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade do resíduo é um importante parâmetro de projeto e operação de aterros sanitários, particularmente nos casos de problemas de estabilidade e migração não controlada de lixiviado. Normalmente, a permeabilidade é avaliada por meio de ensaios de laboratório e *in situ*, executados em trincheiras e poços escavados de grande diâmetro ou em furos de sondagem.

A permeabilidade é altamente dependente do grau de compactação, pressão de sobrecarga, idade e composição dos resíduos sólidos urbanos. Portanto, deve ser determinada de caso para caso.

2.2.3.8. Temperatura

Da literatura consultada obtiveram-se poucas referências constando resultados de variação de temperatura do RSU com a profundidade. Coumoulos *et al.* (1995) apresentam dados de temperatura para o aterro de Ano Liossia em Atenas (Figura 2.4) e Mariano & Jucá (1998) apresentam resultados de temperatura para o aterro de Muribeca

em Recife (Figura 2.5). Segundo Coumoulos *et al.* (1995) as temperaturas dos resíduos sólidos urbanos variam entre 40 a 60°C e essas não foram afetadas pelas variações sazonais da temperatura ambiente.

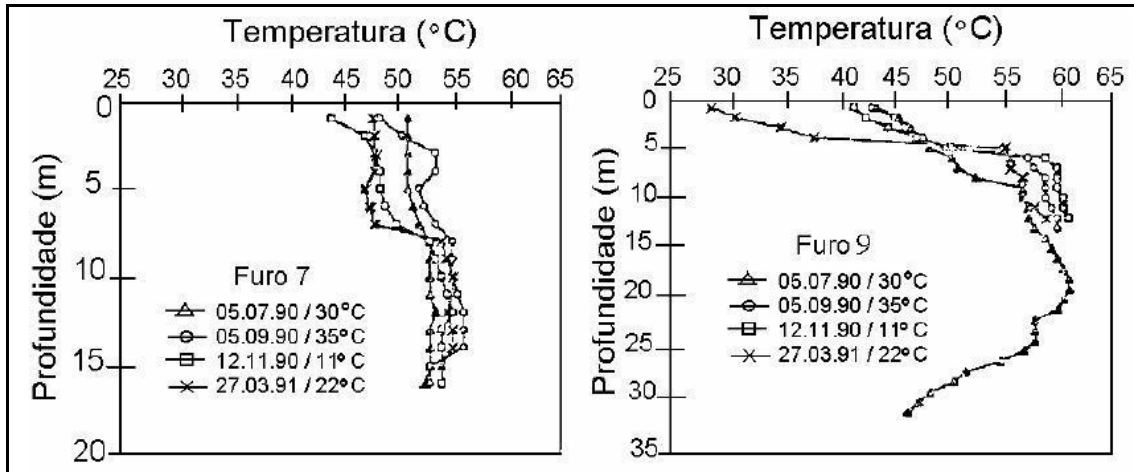


Figura 2.4: Variação da temperatura do RSU com a profundidade, Aterro Ano Liossia, Atenas (Grécia), (COUMOULOS *et al.*, 1995).

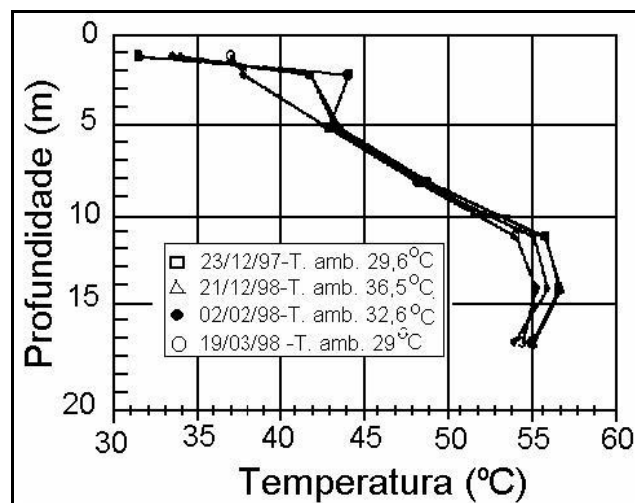


Figura 2.5: Variação da temperatura do RSU com a profundidade, Aterro da Muribeca, Recife (Brasil), (MARIANO & JUCÁ, 1998).

Segundo Junqueira (2000) *apud* Borgatto (2006), as temperaturas no interior da massa de RSU são de grande importância principalmente no que se refere à atividade de microorganismos que promovem a degradação dos diversos componentes do RSU.

2.3 – Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

O progresso econômico e o desenvolvimento industrial aumentaram as quantidades de resíduos gerados, e para se obter um equilíbrio é preciso que estes sejam reintroduzidos no ciclo de produção, sob a forma de matéria-prima. O meio ambiente vem nos dando sinais da sua incapacidade de armazenar todos os resíduos gerados, com isso, as políticas de gerenciamento dos resíduos sólidos tornam-se fundamentais para o melhoramento da qualidade de vida da população e para promover o crescimento sustentável das cidades.

Desta forma, as ações na gestão e no gerenciamento precisam ser articuladas e comprometidas entre si, porém devemos destacar a importância de se considerar as questões econômicas e sociais envolvidas no cenário e a elevação da urbanização, pois são os principais causadores do aumento da problemática do gerenciamento dos resíduos. Para equacionar os problemas principais, é preciso que haja a participação efetiva da sociedade para reduzir os descartes e reaproveitar os resíduos antes do destino final, e, também, é necessário exigir das empresas que estabeleçam programas de redução da geração de resíduos e o máximo aproveitamento dos materiais recicláveis e, ainda, a disposição dos resíduos de forma mais sanitária e ambientalmente adequada.

A palavra gerenciamento quando aplicada aos resíduos sólidos contempla a coleta, classificação, segregação, armazenagem, transporte, tratamento e destinação final destes.

Ferreira (2000) descreveu as etapas de um gerenciamento de resíduos como sendo:

- 1- Redução dos resíduos produzidos: deve-se tentar viabilizar a redução da geração de resíduos. Uma destas formas em áreas urbanas é a implantação de separação de resíduos na fonte (coleta seletiva);
- 2- Acondicionamento: deve ser adequado ao manuseio e tratamento a que será submetido o resíduo;
- 3- Acumulação interna: os resíduos devem ser acumulados em recipientes e/ou locais estanques;
- 4- Transporte interno: o transporte deve ser feito de forma a evitar a ruptura do acondicionamento e disseminação do resíduo;
- 5- Transporte externo: o transporte de resíduos deve ser feito por veículos que evitem espalhamento e vazamento dos mesmos;

- 6- Disposição final dos resíduos: os resíduos devem ser dispostos de forma segura, sem gerar riscos para a saúde pública, poluição e impactos ambientais.

2.3.1 – Métodos de Tratamento dos RSU

Segundo Massukado (2004), o tratamento dos resíduos são ações corretivas que podem trazer como benefícios: sua valorização, ganhos ambientais com a redução do uso de recursos naturais e da poluição, geração de emprego e renda e aumento da vida útil dos locais de disposição final.

Segundo IBAM (2001), o tratamento dos RSU pode ser definido como uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo descarte do RSU em local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

Dentre os métodos de tratamento mais difundidos pode-se citar:

- *Reciclagem*: surgiu como uma maneira de introduzir novamente no sistema uma parte da matéria e da energia que se tornaria resíduo. O ato de reciclar faz com que um determinado material retorne ao seu ciclo de produção, a partir de vários processos de separação dos materiais existentes nos resíduos, que poderão, após seu beneficiamento, retornar à indústria como matéria prima. Como vantagens deste processo têm-se a preservação dos recursos naturais, a economia de energia, a redução da quantidade de resíduos a ser disposta em aterros, além da geração de empregos e serviços. A partir destas vantagens há uma redução dos impactos que poderiam ser gerados ao meio ambiente com a produção de energia para o beneficiamento dos recursos naturais, assim como da destinação final dos resíduos.
- *Compostagem*: é uma forma de tratamento biológico da parcela orgânica dos resíduos, permitindo a redução do volume dos resíduos e a transformação destes em compostos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura como condicionantes do solo: o *húmus*. O processo é totalmente natural, não sendo necessária a adição de componentes físico, químico ou biológico, não causando impactos ao meio ambiente. A realização de compostagem em usinas é o meio mais ecologicamente correto de se tratar os resíduos sólidos urbanos. Pode-se dizer que com a compostagem, os ciclos de extração, consumo, disposição e

retorno ao meio ambiente se fecham da maneira ambientalmente correta, retornando à natureza, compostos que foram retirados dela mesma.

- *Pré-Tratamento Mecânico Biológico*: é composto por duas fases combinadas, a mecânica e a biológica. Antes da fase mecânica os resíduos são submetidos a uma triagem inicial com o intuito de resgatar os materiais recicláveis e de grande volume, já que os materiais volumosos podem prejudicar o processo. A fase mecânica consiste em diminuir as dimensões dos resíduos sólidos através da trituração mecânica. Já a etapa do tratamento biológico é baseada na biodegradação da matéria orgânica, seja por compostagem ou digestão, e esta normalmente ocorre em um sistema fechado.
- *Incineração*: segundo IPT/CEMPRE (2000) a incineração é o processo de combustão controlada dos resíduos que são queimados e transformados em pequenas quantidades de resíduos inertes, não inertes e gasosos. A incineração é usualmente realizada em temperaturas acima de 850°C. Idealmente, a combustão deveria gerar somente dióxido de carbono, água e cinzas, sendo os dois primeiros resultantes da combustão completa do material orgânico presente em resíduos sólidos com o oxigênio e o ar, e o último decorrente da presença de materiais não combustíveis. Para o IPT/CEMPRE (2000) as desvantagens da incineração estão no seu alto custo de instalação e operação, na exigência de mão de obra qualificada e na presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos. Como vantagens têm-se a redução drástica de massa e volume a ser descartada, a recuperação de energia e a esterilização dos resíduos.

Para uma gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos é interessante que esses métodos de tratamento sejam aplicados em conjunto, otimizando assim as vantagens de cada um isoladamente (Tabela 2.2).

Tabela 2.2: Comparação das principais opções de tecnologia de tratamento/disposição dos RSU: aterro, compostagem e incineração (CHENG & HU, 2010).

<i>Tecnologia</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Aterro Sanitário	<ul style="list-style-type: none"> -Solução universal que permite a eliminação dos resíduos finais; -Custo relativamente baixo e de fácil implementação; -Complementa com outras opções de tecnologia o destino dos resíduos; -O gás de aterro pode ser um subproduto para o uso doméstico e industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> -O custo aumenta significativamente com o <i>liner</i>; -Exige grandes extensões de terra para sua implementação; -Não alcança os objetivos de redução do volume dos RSU, e não são convertidos em recursos reutilizáveis; -Se mal operado pode trazer problemas secundários, como a poluição das águas subterrâneas, do ar e do solo; -Necessita de cuidados pós-encerramento e existem incógnitas, como: se há restrições a longo prazo do uso do solo do local; -A localização do aterro pode ser limitada pela geologia do local e da estabilidade natural do subsolo; -Devido a não aceitação pública e a limitação de espaço, os aterros são muitas vezes longe dos locais onde os resíduos são gerados, aumentando os custos com o transporte.
Compostagem	<ul style="list-style-type: none"> -Converte materiais orgânicos em fertilizantes orgânicos; -Reduz a quantidade de resíduos a serem depositados em aterro. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ocupa mais espaço do que algumas tecnologias de gestão de resíduos; -Os custos de implementação e manutenção de uma usina de compostagem podem ser altos; -Requer a redução do tamanho dos resíduos, com isso faz-se necessário algum grau de separação dos resíduos/tratamento; -Existem problemas com a aceitação pública, devido à emissão de odores; -São necessários estudos mais aprofundados sobre a qualidade do composto, devido à presença de metais nos RSU que podem contaminar os solos.
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> -Fornece a redução substancial de cerca de 90% no volume de RSU; -As cinzas provenientes da incineração são estáveis e podem ser usadas em materiais da construção civil; -O calor de combustão pode ser usado como fonte de energia para geração de vapor e/ou eletricidade; -Instalações de incineração podem ser localizadas perto de áreas residenciais, reduzindo assim os custos de transporte dos RSU; 	<ul style="list-style-type: none"> -Alto custo de implementação em comparação com as outras tecnologias; -Necessidade de qualificação e experiência do operador; -Equipamentos de controle de poluição são necessários para tratar os gases de combustão, e as cinzas precisam ser dispostas em aterros; -Pode em algum tempo desencorajar a reciclagem e a redução de resíduos; -A percepção pública é, por vezes negativas, principalmente com a emissão de dioxinas e furanos.

Algumas desvantagens citadas por Cheng & Hu (2010) na Tabela 2.2 para a tecnologia de incineração podem ser questionadas. Como por exemplo, o alto custo de implementação, pois apresenta uma visão primária e relativa, visto que em um cenário de escassez energética tal custo pode ser rapidamente amortizado. E ainda é comum a idéia que dispor os resíduos em lixões seja mais barato que em usinas de incineração, mas essa não é uma verdade absoluta, já que em um lixão, não são incorporados os custos ambientais, tendo assim uma visão parcial, não sistêmica do problema.

Para Cheng & Hu (2010) a incineração pode em algum tempo desencorajar a reciclagem, o que por si só não é um mal, dependendo do cenário, já que há cenários em que a prática da reciclagem não é interessante, nem viável economicamente.

No Brasil, o sistema de compostagem é bastante atrativo, uma vez que a maior parte dos resíduos sólidos urbanos é constituída de materiais orgânicos. Esse cenário é bem diferente para os RSU dos países mais industrializados, que apresentam baixas quantidades de matéria orgânica, como pode ser observado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Teor de material putrescível nos resíduos sólidos urbanos de algumas cidades brasileiras e estrangeiras (modificado de MANASSERO *et al.*, 1996; LI'AO *et al.*, 2009).

<i>Cidade</i>	<i>Teor de Matéria Orgânica (Peso percentual)</i>
Cochabamba (Bolívia)	71%
Belo Horizonte (Brasil)	67%
Salvador (Brasil)	60%
Dona Juana (Colômbia)	50%
Brasília (Brasil)	49%
Fengjie (China)	49%
Bangkok (Tailândia)	44%
Genebra (Suíça)	28%
Nova York (EUA)	20%

2.3.2 – Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos

No Brasil, as formas de disposição final mais comumente adotadas têm sido aquelas em que os resíduos são aterrados sem tratamento prévio, isto é, em lixão. Quando se fala em disposição em aterros, três tipos são identificados: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

- *Lixão ou Vazadouro a céu aberto:* é uma forma inadequada de destinação final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos), além de poluição do ar pela exalação de odores, fumaças, gases tóxicos ou material particulado, poluição das águas superficiais e subterrâneas, e do solo, pelo lixiviado. Acrescenta-se a esta situação o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias. Comumente ainda se associam aos lixões fatos altamente indesejáveis, como a criação de animais e a existência de catadores os quais, muitas vezes, residem no próprio local, comprometendo a saúde destes.
- *Aterro Controlado:* Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, como a cobertura de solo sobre os resíduos dispostos ao final de cada jornada de trabalho e a compactação para redução de volume (FUNASA, 2006). E, geralmente, não dispõe de impermeabilização de base, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas; nem processos de tratamento de lixiviado e ou de dispersão dos gases gerados.
- *Aterro Sanitário:* Segundo a ABNT (1997), aterro sanitário é a forma de disposição de resíduos sólidos urbanos que obedece a critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo o confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. São constituídos por células de disposição, há compactação dos resíduos, cobertura, sistema de drenagem, tratamento do lixiviado e dos gases produzidos, impermeabilização de base, monitoramento geotécnico e ambiental e instrumentação. Todas essas técnicas visam proteger o meio ambiente de possível contaminação oriunda do aterro.

A implantação de um aterro sanitário é uma das tarefas mais difíceis e muitas vezes controversas enfrentadas por muitas comunidades, na implementação de um programa integrado de disposição de RSU. Na avaliação de locais potenciais para a disposição dos RSU alguns fatores precisam ser considerados, como: a distância dos centros geradores para o local de disposição, as restrições de localização, a disponibilidade da área, o acesso a área, as condições do solo, as condições climatológicas, as condições ambientais locais e as condições geológicas e hidrogeológicas.

A instalação de aterros sanitários deve ser planejada em associação, na medida do possível, à implantação da coleta seletiva, indústria de reciclagem e das usinas de compostagem. Com isso, a vida útil do aterro sanitário pode ser prolongada, pois os materiais serão reaproveitados, o que significa o não desperdício de matérias primas e de recursos naturais.

A pesquisa nacional de saneamento básico realizada em 2000 pelo IBGE (IBGE, 2002), com base em levantamentos realizados nas prefeituras municipais e empresas prestadoras de serviços, revelou uma tendência de melhoria da situação de disposição final dos resíduos coletados no país nos últimos anos. No Brasil foram coletados 228.413 t/dia de resíduos sólidos no ano de 2000. Deste, 47,1% foram destinados aos aterros sanitários, 22,3% aos aterros controlados e 30,5% aos lixões, como pode ser observado na Figura 2.6 por estratos populacionais dos municípios. Em número de municípios, o resultado não é tão favorável: 63,6% depositam seus resíduos em lixões, somente 13,8% informaram que utilizam aterros sanitários, e 18,4% dispõem seus resíduos em aterros controlados. Os 4,2% dos entrevistados restantes não informaram o destino de seus resíduos (IBGE, 2002).

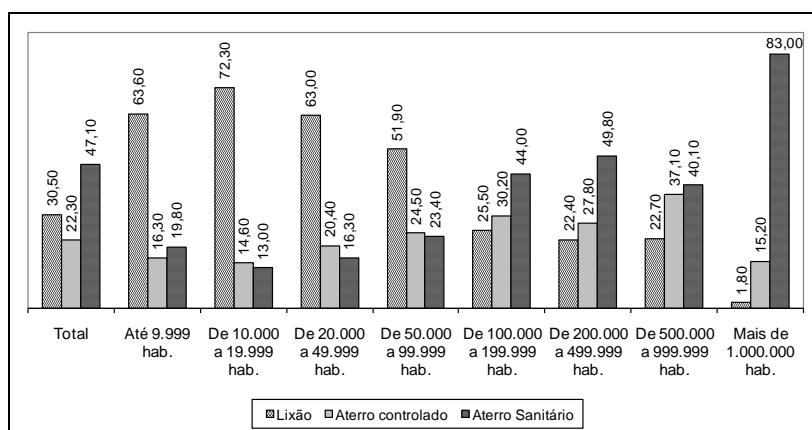


Figura 2.6: Percentual do volume de RSU coletado, por tipo de destino final, segundo os estratos populacionais dos municípios (IBGE, 2002).

2.4 – Emissões Gasosas de Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com a United States Environmental Protection Agency (EPA, 1998), são quatro as principais formas de relação entre os resíduos sólidos urbanos e o efeito estufa: emissão de dióxido de carbono decorrente do consumo de energia para extração e produção dos bens (incluindo a extração e processamento dos combustíveis a serem usados); emissão de dióxido de carbono oriunda do consumo não-energético de combustíveis no processo de produção dos bens; emissão de metano dos aterros sanitários em que os materiais acima e os restos de alimentos são depositados e se decompõem; e fixação de carbono das parcelas dos materiais que não se decompõem nos aterros sanitários. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008), uma quinta relação é a emissão de CO₂ devida ao transporte dos resíduos, desde a coleta até a destinação final.

As emissões produzidas pela decomposição dos RSU em aterros sanitários são compostas por metano (45% a 60%), dióxido de carbono (40% a 60%), nitrogênio (2% a 5%) e, em quantidades inferiores a 1%, de dezenas de contaminantes orgânicos e inorgânicos conhecidos pela sigla NMOCs (Non-Methane Organic Compounds), que incluem benzeno, tolueno, clorados, mercúrio, organometálicos, entre outros.

Resíduos compostos predominantemente por carboidratos tendem a produzir igual percentual de metano e de dióxido de carbono, enquanto que resíduos compostos predominantemente por gordura e proteína tendem a apresentar cerca de 55% de metano e 45 % de dióxido de carbono. Umidade e calor tendem a acelerar a decomposição da matéria orgânica e, portanto, a aumentar a velocidade de decaimento da produção de emissões (EPE, 2008).

Na Figura 2.7 pode ser observada a evolução da produção de metano de alguns componentes habitualmente presentes no RSU, obtida a partir do modelo matemático do IPCC (Waste Model) (EPE, 2008). Para efeito de cálculo, admitiu-se igual quantidade de 1.000 toneladas de cada uma das frações, depositadas uma única vez em aterro sanitário.

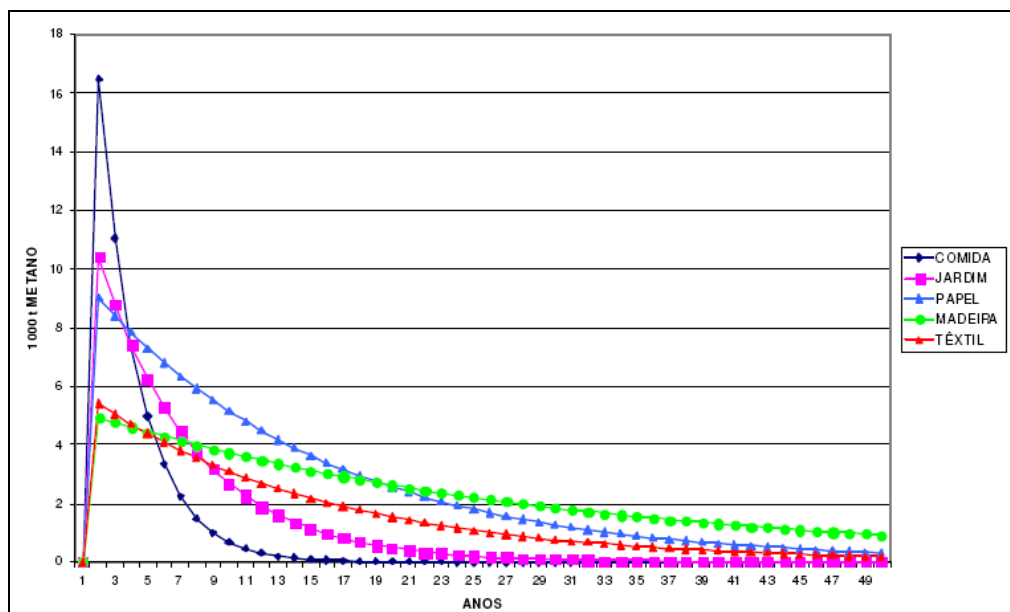


Figura 2.7: Emissões de metano por tipo de resíduo (EPE, 2008).

Estima-se que os aterros sanitários em todo o mundo produzam de 20 a 60 milhões de toneladas de metano por ano, como um resultado direto da decomposição orgânica dos componentes do resíduo, como pode ser observado na Tabela 2.4. Aproximadamente, dois terços destas emissões são oriundas de países desenvolvidos, sendo que os onze maiores emissores representam 70% das emissões globais. Os Estados Unidos são o maior emissor, seguido por China, Canadá, Alemanha, Reino Unido e Comunidade Européia. A contribuição relativa dos países em desenvolvimento está mudando rapidamente e, devido às tendências de crescimento populacional e urbanização, bem como às necessidades de crescimento econômico, estes serão responsáveis por uma parcela cada vez maior das emissões de metano (MUYLAERT *et al.*, 2000).

Tabela 2.4: Estimativas de emissão de metano em aterros sanitários (modificado de MUYLAERT *et al.*, 2000).

<i>País</i>	<i>Emissões Estimadas (10⁶ t/ano)</i>
Europa	8 – 12
Reino Unido	1 – 3
Brasil	0,7 – 2,2
Índia	0,2 – 0,8
Polônia	0,1 – 0,4
Outros	11 – 39
Total (Mundo)	21 – 57

2.5 – Os RSU e sua Contribuição para a Intensificação do Efeito Estufa

A atmosfera terrestre é composta por nitrogênio (N_2 – 78,10%), oxigênio (O_2 – 20,95%), argônio (Ar – 0,93%), dióxido de carbono (CO_2 – 0,03%) entre outros gases. Os principais gases atmosféricos possuem uma interação limitada com a irradiação solar. Contudo, alguns gases como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o ozônio (O_3), além do vapor d'água (H_2O), são capazes de absorver e refletir os raios infravermelhos. Esses gases são denominados gases de efeito estufa (GEE), e são importantes para manter o balanço energético da Terra (ROSE, 2009).

Está comprovado, por medições da concentração de CO_2 nas geleiras das calotas polares, que vem aumentando nos últimos dois séculos, na atmosfera, a presença desse gás de uma forma acentuada, capaz de intensificar o efeito estufa e modificar as condições climáticas do planeta. Como este aumento está ocorrendo simultaneamente ao incremento da emissão destes gases provenientes de atividades humanas, como a combustão de combustíveis fósseis e a fermentação anaeróbica de resíduos, convencionou-se chamar este fenômeno de efeito estufa antropogênico (DUBEUX, 2007).

Além de suas concentrações diferentes, como mostra a Tabela 2.5, os GEE diferem quanto a seus potenciais de aquecimento global – capacidade de absorção e redistribuição da energia térmica emitida pela Terra, em função da vida média de cada gás. O IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU - Organização das Nações Unidas - 1996) calculou o potencial de aquecimento global tomando como unidade o CO_2 , como pode ser observado na Tabela 2.6.

Tabela 2.5: Concentrações de GEE na Atmosfera (OLIVEIRA, 2004a).

<i>Gases de Efeito Estufa (GEE)</i>				
<i>CO₂</i>	<i>CH₄</i>	<i>O₃ (ao nível do solo)</i>	<i>N₂O</i>	<i>CFCs</i>
50,00%	11,00%	9,00%	7,00%	13,00%

Tabela 2.6: Potencial de Aquecimento Global relativo ao CO₂ (IPCC, 1996).

<i>Espécies (Fórmula Química)</i>	<i>Potencial de Aquecimento Global</i>		
	<i>20 anos</i>	<i>100 anos</i>	<i>500 anos</i>
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1	1	1
Metano (CH ₄)	56	21	6.5
Óxido Nitroso (N ₂ O)	280	310	170

Os GEE emanados da disposição final dos RSU constituem parcela significativa do volume total de GEE lançados à atmosfera de origem antropogênica. Na disposição final dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários, a putrefação da fração orgânica gera um gás, que é denominado no Brasil de biogás. Este possui em sua composição o metano, que tem potencial de aquecimento global em 100 anos, vinte e uma vezes maior que o do dióxido de carbono.

2.6 – Energia

O uso global de energia tem crescido mais rapidamente que a população mundial. A principal demanda energética no mundo provém de fontes convencionais, não renováveis, tais como, carvão, óleo, gás natural e o petróleo. A vida de todos os combustíveis convencionais é limitada pelo presente e por um futuro próximo baseado no consumo de fontes não renováveis. Deste modo, deve ser dada maior atenção às fontes renováveis, tal como a energia solar, a energia eólica, a biomassa e a energia gerada a partir dos resíduos sólidos urbanos.

2.6.1 – Geração de Energia a Partir de RSU

O aproveitamento energético dos resíduos expande a vida útil das reservas de matéria-prima e energia, na medida em que reduz a demanda por esses recursos, tendo em vista que obriga a um uso mais eficiente dos mesmos (TOLMASQUIM, 2003).

Dentro de uma perspectiva a longo prazo, o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 (EPE, 2007) considera a possibilidade de instalação de até 1.300 MW nos próximos 25 anos em termelétricas utilizando RSU, sendo assim, são esperados avanços importantes no aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

A massa de RSU pode ser utilizada para geração de energia em usinas instaladas próximas aos centros urbanos, o que exige menos investimento em transportes e em combustíveis fósseis, ao contrário da energia eólica e das pequenas centrais hidrelétricas

(PCHs), cuja exploração depende da disponibilidade do recurso natural e cujas áreas para instalação de empreendimentos, normalmente, ficam distantes dos centros urbanos.

As rotas para destinação final dos RSU podem ser hierarquizadas. Tendo como critério o resíduo final mínimo, sua ordenação será: redução da geração na fonte, reutilização do material produzido, reciclagem, recuperação de energia e por fim o aterro sanitário.

Para que ocorra uma efetiva redução de geração na fonte, e a reutilização do material produzido, são necessárias mudanças de comportamento da população e dos interesses dos setores econômicos, com isso, estas são entendidas como metas futuras. Assim, a reciclagem e a recuperação de energia são as alternativas disponíveis em curto prazo para minimizar os problemas de disposição dos resíduos sólidos urbanos.

O aproveitamento energético dos RSU amplia a segurança do sistema elétrico nacional, pois oferta eletricidade de maneira descentralizada, em virtude dos resíduos sólidos urbanos estarem disponíveis próximos aos centros consumidores. A redução da quantidade de RSU a ser depositada em aterros sanitários amplia sua vida útil e soluciona um dos grandes problemas da atualidade, a escassez de áreas para novos depósitos de RSU.

A forte campanha contrária às usinas de incineração durante a década de 80 resultou na adoção de legislações ambientais com limites extremamente rigorosos para as emissões gasosas nos países membros da União Européia, nos EUA e no Japão, especialmente no que se refere às emissões dos poluentes orgânicos persistentes (POPs).

No Brasil a Resolução CONAMA nº 316/2002 que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, resolve:

“Art. 1º Disciplinar os processos de tratamento térmico de resíduos, estabelecendo procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes, de modo a minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública, resultantes destas atividades” (CONAMA, 2002).

Em 2001, a Convenção de Estocolmo sobre poluentes orgânicos persistentes, assinada por cerca de 50 países inclusive o Brasil, recomendou o tratamento térmico realizado de forma tecnicamente adequada para a destinação final dos RSU. Para tanto deveriam ser atendidos os seguintes princípios: queima dos resíduos em sistema fechado

a elevadas temperaturas (mais de 850°C), com tempo de residência adequado e filtragem dos gases de incineração antes de liberá-los à atmosfera.

2.6.2 – Descrição das Tecnologias de Aproveitamento Energético de Resíduos

Serão apresentadas duas tecnologias para geração de energia com os resíduos sólidos urbanos: a tecnologia de aproveitamento do gás do RSU gerado na decomposição dos RSU (biogás) e a tecnologia da incineração controlada dos RSU.

A tecnologia de aproveitamento do biogás é uma alternativa que pode ser aplicada a curto e médio prazo para os gases gerados nos aterros sanitários e controlados já existentes. É utilizada em centenas de aterros de diversos países, e consiste na recuperação do biogás oriundo da decomposição natural dos restos orgânicos para abastecer motores que impulsionam geradores.

A tecnologia da incineração controlada do RSU se justifica pela existência de uma indústria consolidada, com sistemas de incineração de alta tecnologia e baixas emissões de poluentes, com larga utilização para tratamento do RSU e de resíduos hospitalares. Caracteriza-se pela recuperação dos gases de escape do processo, os quais normalmente atingem mais de 1.000°C, que são encaminhados para uma caldeira de recuperação de calor, onde é produzido vapor d'água para mover uma turbina.

2.6.2.1. Recuperação Energética do Biogás

A organização internacional Methane to Markets vem apoiando iniciativas mundiais para recuperação de biogás, e apontava a existência de 37 projetos operacionais, em 2004, apenas nos Estados Unidos da América. Ao apresentar a evolução da técnica, a organização informa que enquanto a quantidade de RSU acumulada em aterros aumentou 33%, no período de 1990 a 2003, a extração de gás metano aumentou quase 500% no mesmo período. O destino deste gás metano (CH₄) é ser queimado para evitar o efeito estufa ou transformado em energia elétrica (MMPLS, 2005).

Segundo Henriques (2004), no Brasil o aproveitamento do biogás é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos, bem como mundialmente o mais utilizado. O poder calorífico do biogás é de 14,9 a 20,5 MJ/m³, ou aproximadamente 5.800 kcal/m³. A recuperação do biogás tem como vantagens a redução dos gases de efeito estufa emitidos por aterros e a geração de energia.

A forma de implantação do processo de recuperação do biogás pode contribuir para gerar desvantagens, como: a ineficiência no processo de recuperação do biogás, com aproveitamento de aproximadamente 50% do total de biogás produzido; e o alto custo para a ampliação de uma planta, quando se esgotam as capacidades previamente dimensionadas.

Um sistema padrão de coleta de biogás tem três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento e um compressor. Além disto, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética terá um *flare* para queima do excesso de biogás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos. É representado na Figura 2.8 um sistema típico de aproveitamento do biogás dos RSU.

O maior uso do biogás é como combustível para a geração de energia elétrica, com a venda da eletricidade para um consumidor próximo. A geração 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. Este pode ser usado localmente para aquecimento, refrigeração, ou ainda transportado através de tubulações para indústria ou comércio próximo, obtendo um segundo rendimento para o projeto.

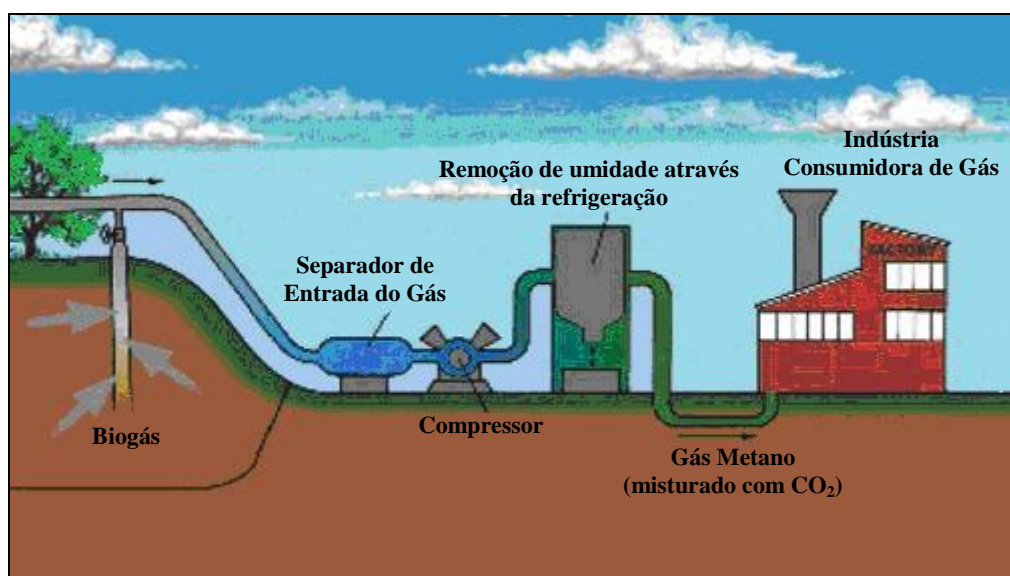


Figura 2.8: Recuperação de gás do RSU (OLIVEIRA, 2004a).

La Rovere *et al.* (2006) apontam iniciativas em andamento no Brasil que visam a recuperação de biogás de aterros sanitários, e que podem gerar reduções certificadas de emissão (RCEs) na ordem de 2,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalente/ano, com receita potencial de US\$ 11,4 milhões/ano. Segundo os autores, iniciativas viáveis a curto e médio prazos podem multiplicar por cinco esses valores, constituindo-se numa oportunidade promissora para promover a sustentabilidade social e ambiental do desenvolvimento municipal no país, por meio do apoio a uma gestão mais adequada dos resíduos sólidos urbanos.

2.6.2.2. Tecnologia da Incineração Controlada de RSU

A incineração controlada ou reciclagem energética com geração de energia usa a decomposição térmica via oxidação para tornar um resíduo menos volumoso e menos tóxico, ou ainda eliminá-lo, em alguns casos. Os materiais orgânicos presentes nos RSU, no processo de incineração controlada, são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente gás carbônico (CO₂), vapor d'água (H₂O) e sólidos inorgânicos inertes (cinzas) – geralmente formados por metais, óxidos metálicos e sais, ou minerais sintéticos. Os gases gerados no processo podem conter partículas em suspensão, cuja coleta, por meio de filtros, ciclones ou colunas de lavagem, deve ser imperativa. Assim, incinerar os RSU é uma rota tecnológica que pode reduzir problemas ambientais, além de gerar energia térmica (de amplo uso) e matérias-primas (as cinzas e o material particulado coletado) para outros setores industriais.

Segundo Nascimento *et al.* (2000), com a incineração controlada dos resíduos é possível: reduzir o volume em até 90% e o peso em 80%, e as cinzas geradas são em geral inertes, o que diminui a crescente necessidade de áreas de aterros sanitários; minimizar a preocupação com a monitoração do lençol freático, já que os resíduos tóxicos podem ser destruídos, ao invés de estocados; a destoxificação; e a co-geração de energia elétrica, já que os gases quentes da incineração podem ser usados na geração de vapor d'água para hospitais, hotéis, indústrias e outros estabelecimentos.

As cinzas podem ser empregadas na fabricação de produtos cerâmicos. Os produtos cerâmicos são materiais não-metálicos (em geral óxidos e sais), obtidos pela combinação química (a partir de queimas adequadas) de um ou mais elementos metálicos com um ou mais elementos não-metálicos. São cerâmicos naturais os minerais com essa combinação, como argilas, feldspatos, quartzo, magnesita, cromita, grafita, talco e gipsita. Já os cerâmicos manufaturados são produtos não-metálicos obtidos por

reação química a altas temperaturas, como refratários, tijolos, telhas, louça doméstica e sanitária, vidros, cimento Portland, abrasivos sintéticos e outros (NASCIMENTO *et al.*, 2000).

A reciclagem energética é recomendada pelo IPCC como solução para a destinação final do resíduo sólido urbano não reciclável.

No Brasil a reciclagem energética ainda é muito criticada, principalmente por ser confundida com a simples incineração dos resíduos – que não aproveita o calor da queima para gerar energia e, ainda, não emprega tecnologia adequada para evitar a emissão de gases prejudiciais à saúde e ao meio ambiente.

O processo de reciclagem energética começa com um pré-tratamento do resíduo bruto coletado, para a separação, por catação manual ou mecânica, de componentes com valor comercial (papel, vidros, plásticos, alumínio, metais e outros). O material restante pode sofrer moagem, secagem, compostagem e enfardamento, para otimizar a queima. O incinerador, de alimentação manual ou mecânica (com esteiras e dosadores adequados), pode ser de câmaras múltiplas (com grelhas móveis) ou rotativo, dependendo de sua capacidade.

Os gases de exaustão gerados na incineração são resfriados em trocadores de calor, que permitem também reaproveitar a energia térmica, e são neutralizados quimicamente em colunas lavadoras – a água arrasta partículas sólidas presentes nos gases e forma lamas e suspensões, que depois recebem tratamento adequado. O uso de outros lavadores, filtros e precipitadores permite que os gases emitidos na incineração de RSU obedeçam às exigências da legislação ambiental.

A concepção moderna de incineração de RSU é uma queima extremamente controlada e envolve tipicamente duas câmaras de combustão. A câmara primária é a receptora direta do RSU. Nesse dispositivo, a temperatura de operação varia tipicamente entre 500°C e 900°C. Em todas as configurações, a alimentação de oxigênio nessa câmara é sub-estequiométrica, evitando-se assim gradientes elevados de temperatura. Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no RSU. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas. Ao final da operação, a parte sólida é reduzida a cerca de 10 % do volume original e tem o aspecto de cinza.

A fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária (Figura 2.9). Nesse caso, a atmosfera é altamente oxidante, há excesso de oxigênio, e a temperatura varia entre 1000-1250°C. Agora, os diversos gases gerados na

câmara anterior são oxidados a CO_2 e H_2O . Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é mínima.

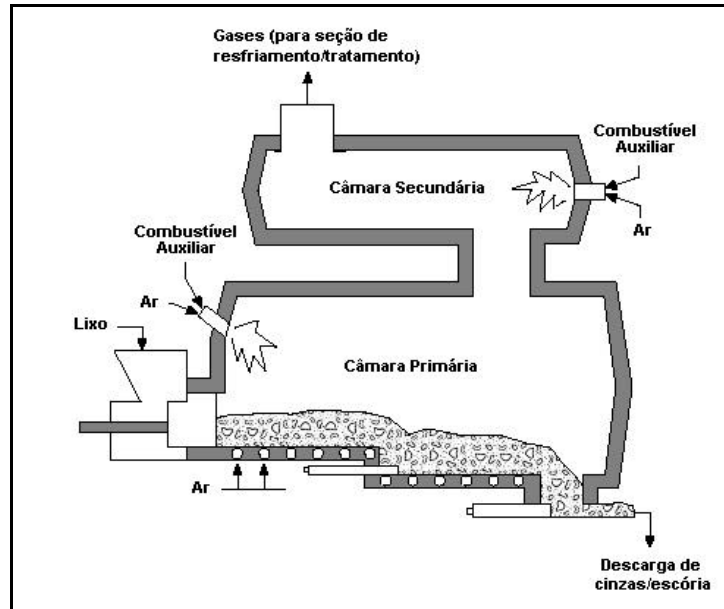


Figura 2.9: Esquema representativo das câmaras de combustão (OLIVEIRA, 2004a).

CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão apresentadas as características gerais, de interesse para a dissertação, referentes ao município de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, e ao local de estudo, o aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Nova Iguaçu, no que concerne às características físicas da área e às condições de construção do aterro.

3.1. Município de Nova Iguaçu, RJ

O município de Nova Iguaçu localiza-se na região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, a cerca de 30 km da capital do estado, entre os paralelos 22° de Latitude Sul e 43° de Longitude Oeste (Figura 3.1). Tem uma área de aproximadamente 524 km², correspondentes a cerca de 11% da área da região metropolitana. Segundo dados do IBGE (2010), a população foi estimada em 2010 em 767.505 habitantes.

O município de Nova Iguaçu está dividido em cinco setores de planejamento integrado (SPIs), cada um deles, por sua vez, divididos em unidades regionais de governo (URGs), sendo estes últimos, subdivididos em bairros (Tabela 3.1). As URGs foram criadas para oferecer os serviços ordinários à população, descentralizando, assim, alguns serviços que eram realizados com maior frequência no centro da cidade.

Segundo dados do IBGE (2000), o município de Nova Iguaçu apresenta um índice de pobreza de 54,15%, bem alto quando comparado com o município do Rio de Janeiro, que é de 23,85%, e padece de sérias carências em infraestrutura urbana, principalmente no que diz respeito ao saneamento básico.

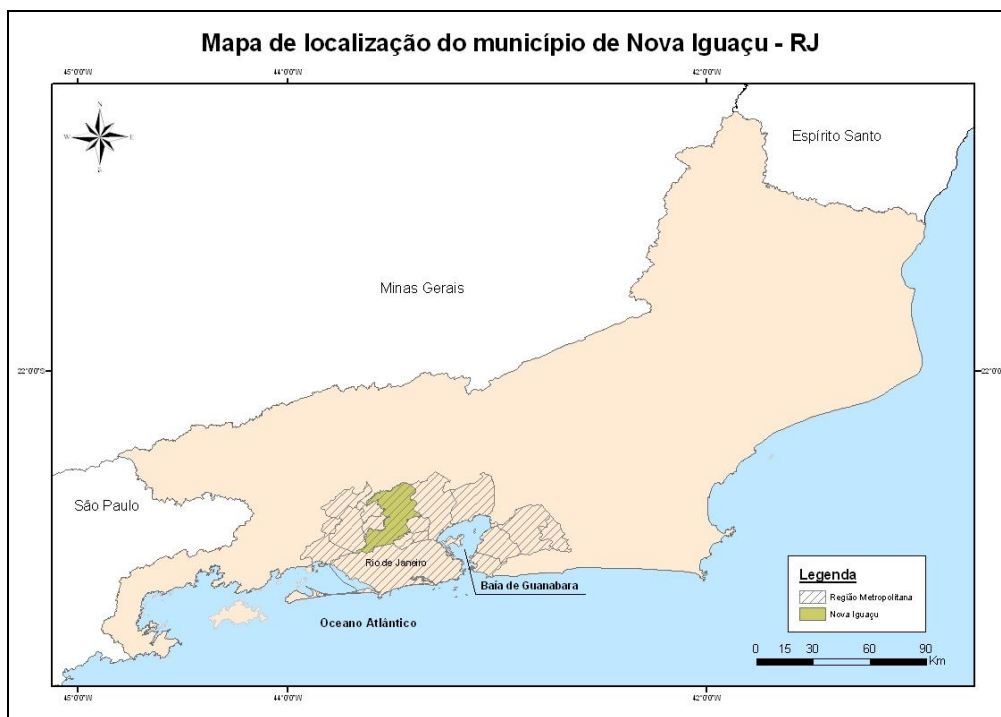


Figura 3.1: Mapa de localização do Município de Nova Iguaçu e da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 3.1: Setores de Planejamento Integrado e Unidades Regionais de Governo do Município de Nova Iguaçu.

<i>Setor de Planejamento Integrado (SPIs)</i>	<i>Unidades Regionais de Governo (URGs)</i>	<i>Bairros</i>
SPI – Centro	URG I – Centro	Centro, Califórnia, Vila Nova, Caonze, Bairro da Luz, Santa Eugênia, Jardim Iguaçu, Chacrinha, Moquetá, Viga, Rancho Novo, Vila Operária, Engenho Pequeno, Jardim Tropical, Prata.
	URG II – Posse	Posse, Cerâmica, Ponto Chic, Ambaí, NovaAmérica, Carmary, Três Corações, Kennedy, Parque Flora, Botafogo.
SPI – Sudoeste	URG III – Comendador Soares	Comendador Soares, Ouro Verde, Jardim Alvorada, Danon, Jardim Palmares, Rosa-dos-Ventos, Jardim Pernambuco, Jardim Nova Era.
	URG IV – Cabuçu	Cabuçu, Palhada, Valverde, Marapicu, Lagoinha, Campo Alegre, Ipiranga.
SPI – Noroeste	URG V – Km 32	Km 32, Paraís, Jardim Guandu, Prados Verdes.
	URG VI – Austin	Austin, Riachão, Inconfidência, Carlos Sampaio, Tinguazinho, Cacuia, Rodilândia, Guimarães.
SPI – Nordeste	URG VII – Vila de Cava	Vila de Cava, Santa Rita, Rancho Fundo, Figueira, Iguaçu Velho, Corumbá.
	URG VIII – Miguel Couto	Miguel Couto, Boa Esperança, Parque Ambaí, Grama, Geneciano.
SPI – Norte	URG IX – Tinguá	Tinguá, Montevideú, Adrianópolis, Rio d'Ouro, Jaceruba.

A Empresa Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB), companhia responsável pela limpeza urbana, é uma sociedade anônima que tem a prefeitura da cidade de Nova Iguaçu como acionista majoritária. Dentre as suas principais atribuições estão: os serviços de coleta domiciliar, limpeza de logradouros públicos, de parques públicos, do mobiliário urbano, do espelho d'água das lagoas, túneis e viadutos, além da destinação adequada de todos os resíduos produzidos em unidades de saúde localizadas no município de Nova Iguaçu.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2009), tendo como referência o ano de 2007, 80% da coleta domiciliar do município de Nova Iguaçu era realizada de 2 a 3 vezes por semana e 20% da coleta era realizada diariamente.

A empresa Green Life - Execução de Projetos Ambientais Ltda. foi contratada pela EMLURB para fazer a coleta, limpeza, remoção e o transporte dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu, e começou sua operação em Janeiro de 2009.

Segundo SNIS (2009), o município de Nova Iguaçu teve em 2007, 393.543 toneladas de resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados por empresas terceirizadas, conforme pode ser observado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Informações sobre quantidades de resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados no município de Nova Iguaçu, 2007 (modificado do SNIS, 2009).

<i>Quantidade total de resíduos coletados (t)</i>	<i>Quantidade de resíduos domiciliares coletados (t)</i>	<i>Quantidade de resíduos públicos coletados (t)</i>
393.543	168.456	225.087

3.1.1. Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu

A Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu (CTR-NI) foi construída pela Empresa SA Paulista/Renova Soluções Ambientais. A CTR-NI inclui um aterro sanitário fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas que permite um confinamento seguro em termos de controle da poluição ambiental e proteção da saúde pública; uma unidade de tratamento de resíduos de serviços de saúde e uma unidade de britagem de entulho.

A concessão de 20 anos foi obtida em licitação pública realizada pela Prefeitura de Nova Iguaçu em 1999, mas a central só começou a operar em fevereiro de 2003, após a obtenção de todas as licenças ambientais nas esferas municipal (Secretaria de Meio Ambiente de Nova Iguaçu), estadual (INEA) e federal (IBAMA), sob supervisão direta do Ministério Público do Rio de Janeiro. O prazo de encerramento da concessão do empreendimento é em 2020.

De acordo com os laudos técnicos das auditorias, a CTR-NI possui tecnologia e condições operacionais para recepção, tratamento e destino de resíduos sólidos urbanos e industriais classes IIA e IIB (ABNT/NBR 10.004/2004) e de resíduos de serviços de saúde.

A CTR-NI está localizada no distrito de Vila de Cava, a cerca de 10 km do centro urbano da cidade. Ocupa uma área de 1.200.000 m² distribuída em quatro fundos de vale (Figura 3.2).



Figura 3.2: Distribuição dos fundos de vale do aterro da CTR-NI (BORTOLAZZO, 2010).

A Unidade de Tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) da CTR-NI consiste num equipamento compacto que tritura os resíduos e utiliza desinfecção térmica contínua (Figura 3.3). O resíduo resultante pode ser considerado como resíduo comum não infeccioso, podendo ser depositado em qualquer parte do aterro.



Figura 3.3: Unidade de Tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde da CTR-NI (OLIVEIRA, 2004b).

Periodicamente, são coletadas amostras de água de 16 poços de monitoramento do lençol freático e de 6 pontos de água superficial para análises. Há, ainda, o controle de pesagem dos resíduos que chegam ao aterro, realizado por sistema informatizado, e também, o controle da qualidade dos resíduos, realizados pelo laboratório instalado dentro da CTR-NI em parceria com o Centro de Tecnologia Ambiental (CTA) da FIRJAN (Figura 3.4).



Figura 3.4: A- Monitoramento da qualidade de água do lençol freático. B- Sistema informatizado de pesagem e controle. C- Laboratório de análises de resíduos (NOVA GERAR, 2003).

O gás gerado no aterro sanitário é aproveitado na produção de energia limpa. O biogás é drenado, canalizado e transformado em combustível que alimenta as unidades de tratamento dentro da própria CTR-NI.

3.1.1.1. Aterro Sanitário da CTR-NI

O aterro sanitário da CTR-NI recebe cerca de 2.300 t/dia de resíduos sólidos. Esse possui dupla impermeabilização da base do terreno, com uma camada de 1,10 m de solo argiloso compactado com baixa permeabilidade, protegida pela manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) de 1,5 mm de espessura (Figura 3.5). Assim tem-se uma dupla garantia para impedir a percolação do lixiviado para o solo e para o lençol freático. A CTR-NI também faz a drenagem das águas pluviais para evitar sua contaminação pelo lixiviado. Os taludes das células têm proteção vegetal para evitar a erosão, e todo o solo a ser utilizado para cobertura do RSU é extraído do próprio local.



Figura 3.5: A- Vista da área de descarga com dupla camada de impermeabilização de base. B- Impermeabilização de base – manta de PEAD (OLIVEIRA, 2004b).

A drenagem vertical foi projetada de forma a permitir o escoamento dos gases para a atmosfera, bem como conduzir o lixiviado gerado durante a operação e após o encerramento do aterro, ao sistema de drenagem de fundo.

Os drenos verticais são constituídos por tubos perfurados de concreto, com diâmetro de 0,40 m, envoltos por um anel de rachão com espessura de 0,50 m, o qual é contido por uma tela metálica (Figura 3.6). A função do rachão é coletar o lixiviado das camadas de resíduos e conduzi-los aos drenos principais de fundo, enquanto que o tubo de concreto visa assegurar uma superfície livre, para escoamento do biogás para a atmosfera. Estes drenos são alteados simultaneamente à disposição dos resíduos recebidos.

As descrições da base de fundo do aterro e da drenagem horizontal da CTR-NI estão apresentadas no Anexo 2.



Figura 3.6: Dreno vertical de biogás do aterro da CTR Nova Iguaçu.

Na Tabela 3.3 é observado o quantitativo total de resíduos depositados por origem no aterro sanitário da CTR-NI, em toneladas, de 2003 a 2010. O maior quantitativo de resíduos provenientes do município de Nova Iguaçu é composto por resíduos domiciliares e públicos a granel (resíduos provenientes dos logradouros públicos) com respectivamente 51,70% e 42,48% do total recebido. O fato dos resíduos públicos a granel terem um percentual elevado dentro do total de resíduos do município está ligado à falta de infraestrutura do mesmo, que de certa forma não disponibiliza meios para a população fazer a correta segregação e acondicionamento dos resíduos gerados.

Os resíduos destinados por grandes geradores (resíduos gerados pelo comércio e indústria) representam aproximadamente 54% do total de resíduos recebidos no aterro sanitário da CTR Nova Iguaçu. Os resíduos sólidos dos grandes geradores são bastante diversificados, devido à grande diversidade industrial. O aterro da CTR-NI recebe de grandes geradores resíduos sólidos como: entulho, fibra de vidro, sucata de metais, torta de carvão, lentes de resina, restos de matéria orgânica, papel/papelão, borracha, madeira, materiais plásticos, couro, areia com silicato, emulsão asfáltica, produtos impróprios para consumo, entre outros.

Tabela 3.3: Quantitativo de resíduos depositados por origem no aterro da CTR - Nova Iguaçu nos anos de 2003 a 2010. (modificado da HAZTEC, 2010).

<i>Período</i>	<i>Nova Iguaçu – EMLURB (Toneladas)</i>					<i>Grandes Geradores (Toneladas)</i>		<i>Total</i>
	<i>Domiciliar</i>	<i>Público</i>	<i>Entulho</i>	<i>Varrição</i>	<i>Lodo</i>			
	<i>Ordinário</i>	<i>Granel</i>	<i>Limpo</i>					
2003*	102.994,68	86.609,68	134,82	180,52	0	44.171,00	234.090,70	
2004	140.686,26	191.104,67	39,84	157,51	198	241.662,00	573.848,28	
2005	145.113,37	100.010,86	55.601,08	804,22	590	487.274,00	789.393,53	
2006	170.778,21	123.026,34	54.971,27	1.439,07	284	188.705,00	539.203,89	
2007	171.693,25	177.663,76	14.351,91	167,8	202	253.038,93	617.117,65	
2008	162.216,95	141.889,87	9.568,66	42,69	103	509.479,83	823.301,00	
2009	181.981,16	98.636,23	120,06	2,8	17	564.472,58	845.229,83	
2010**	162.650,94	98.318,99	416,43	0	10	571.366,41	832.762,77	
Total Individual	1.238.114,82	1.017.260,40	135.204,07	2.794,61	1.404,00	2.860.169,75	5.254.947,65	
Total de Resíduos		2.394.777,90				2.860.169,75	5.254.947,65	
% Individual	51,70	42,48	5,65	0,12	0,06	100,00	100,00%	
% Total		45,57				54,43	100,00%	

* A partir de Fevereiro de 2003.

**Exceto o mês de Dezembro de 2010.

3.2. Coleta Convencional de RSU do Município de Nova Iguaçu

O sistema de coleta convencional dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu, desenvolvido pela Empresa Green Life Execução de Projetos Ambientais Ltda., é dividido em 4 (quatro) setores, Lado II, Cabuçu, Austin/Palhada e Centro, que abrangem toda a área urbana do município.

A Empresa Green Life realizou um estudo de caracterização das classes sociais por setores de planejamento, associado as rotas dos caminhões (Apêndice 1). A classe A foi caracterizada como a população de classe média alta (mais que 6 salários mínimos), a classe B para a classe média baixa (de 2 a 6 salários mínimos), e a classe C para a classe baixa à crítica (até 2 salários mínimos).

A Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu recebe cerca de 750 t/dia de resíduos sólidos urbanos provenientes do município de Nova Iguaçu, o que representa uma média de 0,98 kg/hab.dia.

3.3. Coleta Convencional de RSU do Município do Rio de Janeiro

Com uma população de 5.940.224 de habitantes (IBGE, 2010) e geração diária de cerca de 9.000 t/dia de RSU, o município do Rio de Janeiro, que tem uma área de 1.255 km², apresenta uma logística de coleta de seus resíduos que atende quase a totalidade de seus habitantes. Os resíduos sólidos domiciliares são uma parte importante dos resíduos sólidos urbanos e constituem-se de resíduos sólidos originados das atividades humanas dentro dos domicílios.

A Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), companhia responsável pela coleta de RSU, é uma sociedade anônima que tem a prefeitura da cidade do Rio de Janeiro como acionista majoritária. Esta recolhe diariamente cerca de 8.800 toneladas de RSU produzidos em toda a cidade (Tabela 3.4), dos quais 40% são retirados das ruas. Sua produção de RSU é de 1,50 kg/hab.dia (COMLURB, 2009).

Os RSU são coletados diariamente pelas ruas do município do Rio de Janeiro por meio de caminhões compactadores, que têm a função de compactar os sacos de RSU, tentando assim diminuir o volume que está sendo transportado. A COMLURB recolhe até 120 litros de RSU por domicílio, que é o que o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) cobre, acima disso a responsabilidade é do próprio gerador.

Tabela 3.4: Quantitativo de RSU: 1998/2007 – Média Diária (COMLURB, 2008).

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Domiciliar (t/dia)	4.128	4.010	3.933	3.905	3.978	3.797	3.949	4.016	4.153	4.163
Público (t/dia)	2.361	2.734	2.643	2.848	3.405	3.579	3.268	3.376	3.523	3.604
Hospitalar (t/dia)	44	43	43	44	33	36	46	41	40	39
Grandes Geradores (t/dia)	800	893	905	945	1.040	881	779	741	752	693
Outros (t/dia)	323	801	596	388	416	295	305	242	346	280
RSU Municipal (t/dia)	7.656	8.481	8.120	8.160	8.872	8.588	8.347	8.416	8.815	8.779
RSU per capita (kg/hab.dia)	1.326	1.459	1.386	1.391	1.478	1.462	1.418	1.437	1.505	1.482

Os RSU recolhidos são enviados para estações de transferência, por uma questão logística, onde ocorre o vazamento dos resíduos dos caminhões compactadores em galpões protegidos, arejados e cobertos (Figura 3.7). Atualmente estão em funcionamento 3 (três) estações de transferência no município do Rio de Janeiro: Caju, Jacarepaguá e Irajá.



Figura 3.7: Estação de Transferência de Jacarepaguá, RJ.

Segundo dados da COMLURB (2008), a média da coleta de RSU no ano de 2007 foi de 8.779 t/dia, desse total de resíduos cerca de 6.256 t/dia, 71,30%, foram encaminhados para o aterro de Gramacho e 2.523 t/dia, 28,70%, para a CTR Gericinó (Bangu).

Os aterros controlados de Gramacho e a CTR Gericinó estão praticamente esgotados e ambos serão desativados com o término da obra da Central de Tratamento de Resíduos de Seropédica, que receberá resíduos industriais, de serviços de saúde e urbanos do município do Rio de Janeiro. Devido a esta saturação, a partir de 2009 o aterro sanitário da CTR-NI começou a receber cerca de 1.000 t/dia de resíduos sólidos urbanos provenientes das estações de transferência de Jacarepaguá e do Caju.

A Unidade de Transbordo e Transferência de RSU de Jacarepaguá recebe diariamente uma média de 600 t/dia de RSU provenientes dos bairros abrangidos pelas Regiões Administrativas da Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Cidade de Deus que formam a Área de Planejamento (AP) 4, e representa 11,9 % da população total do município do Rio de Janeiro (COMLURB, 2009) (Figura 3.8).

Já a Estação de Transferência de RSU do Caju recebe diariamente uma média de 3.200 t/dia de RSU provenientes das áreas de planejamentos 1 e 2, que englobam as regiões administrativas do Centro e Zona Sul do município do Rio de Janeiro, e também recebe parte dos RSU gerados na área de planejamento 3 (Zona Norte). Estas duas áreas de planejamento representam cerca de 22% da população total do município do Rio de Janeiro.

Pode-se afirmar que os RSU depositados nas estações de transferência de Jacarepaguá e do Caju são representativos da cidade do Rio de Janeiro tanto em quantidade quanto em sua característica, pois abrangem bairros com diferentes classes sociais.

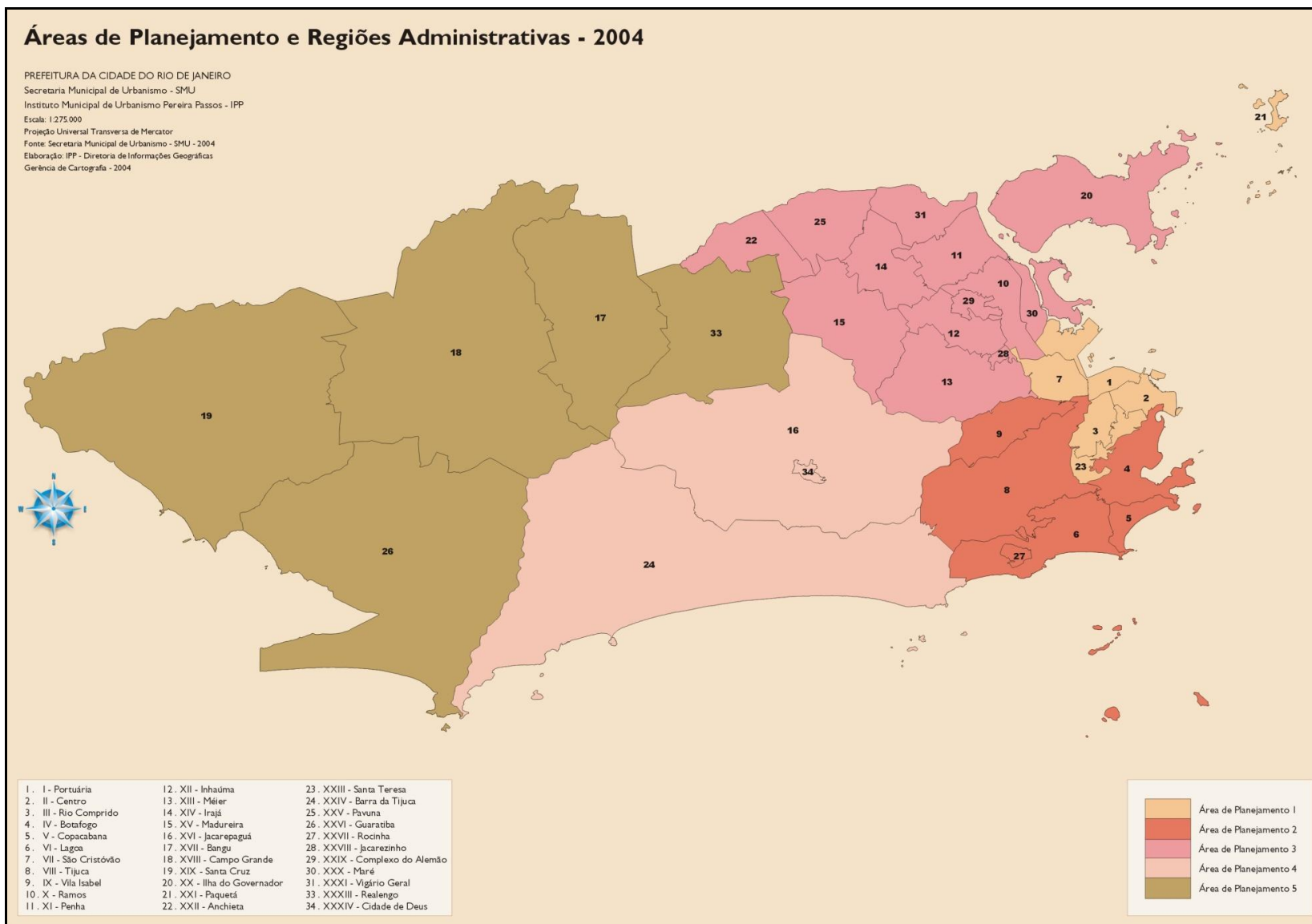


Figura 3.8: Mapa do município do Rio de Janeiro subdividido em Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas (IPP, 2004)

CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Definição das Amostras

4.1.1 – Caracterização Gravimétrica

O aterro sanitário da CTR-NI recebe resíduos sólidos urbanos principalmente dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro. Todas as amostras de RSU foram coletadas neste aterro.

Para o município de Nova Iguaçu, a partir dos dados fornecidos pelas Empresas Green Life e HAZTEC foi possível associar, a partir das placas dos caminhões e suas respectivas rotas, a quantidade de resíduos recebida no aterro, às classes sociais. Isto é, foi estabelecida uma relação percentual entre as quantidades de resíduos que chegam ao aterro da CTR-NI e as classes sociais. Para o ano de 2009, 6 % dos resíduos sólidos urbanos recebidos foram da classe A*, 25 % da classe B* e 69 % da classe C*.

O espaço amostral para a determinação da caracterização gravimétrica, definido para o município de Nova Iguaçu, foi de 8 (oito) amostras. O número de amostras coletadas por classe social foi distribuído de acordo com a representatividade da classe social e a quantidade de RSU que foi disposta no aterro, durante o ano de 2009 (ano base). Desta forma, a coleta das 8 amostras foi distribuída da seguinte forma:

- Classe A - 1 amostra (12,50%) / Classe B - 2 amostras (25,00%) / Classe C - 5 amostras (62,50%).

Com relação aos RSU oriundos do município do Rio de Janeiro que chegam ao aterro sanitário da CTR-NI, amostras foram selecionadas de 3 (três) rotas para a análise gravimétrica dos RSU, sendo 01 (uma) rota para os resíduos provenientes da Estação de Transferência de Jacarepaguá, e 02 (duas) rotas para os resíduos da Estação de Transferência do Caju. Foram selecionadas 02 rotas para os RSU provenientes do Caju, devido à quantidade recebida nesta estação de transferência ser maior que a de Jacarepaguá.

Sendo assim, ao todo foram coletadas 11 (onze) amostras:

- 8 (oito) de RSU do município de Nova Iguaçu (Amostras de 1 a 8);
- 3 (três) de RSU do município do Rio de Janeiro (Amostras de 9 a 11).

* As classes sociais (A, B e C) foram definidas pela Empresa Green Life (conforme apresentado no item 3.2).

4.1.2 – Ensaio Físico-Químico

Das 11 amostras da caracterização gravimétrica foi definido um espaço amostral de 4 (quatro) amostras para a determinação das demais análises físico-químicas, sendo:

- 1 amostra da Classe A de Nova Iguaçu (Amostra 4);
- 1 amostra da Classe B de Nova Iguaçu (Amostra 7);
- 1 amostra da Classe C de Nova Iguaçu (Amostra 6);
- 1 amostra do município do Rio de Janeiro (Amostra 9).

O espaço amostral definido para as análises físico-químicas foi menor do que para a caracterização gravimétrica, devido ao volume dos resíduos sólidos urbanos, a problemas técnicos e ao tempo disponível para a realização dos ensaios.

4.2 – Coleta e Separação da Amostra

Em virtude do volume de resíduos sólidos urbanos gerados por setor, foi necessária a adoção de um procedimento para obtenção de amostra significativa. Este procedimento teve fundamentação teórica no IPT/CEMPRE (2000).

O caminhão escolhido descarregou os resíduos na frente de trabalho do aterro, e após serem depositados foram coletadas quatro amostras de 240 litros cada (contêiner), em pontos aleatórios da pilha de RSU (Figura 4.1). Com o auxílio dos contêineres, os resíduos foram coletados e levados para a pesagem (Figura 4.2). Posteriormente os RSU foram encaminhados para um galpão onde foram depositados sobre uma lona plástica no interior de um quadrado formado por réguas de madeira com as dimensões de 2,00 m x 2,00 m, tendo como finalidade a execução do processo de homogeneização e quarteamento. Inicialmente foram rasgados os sacos plásticos manualmente, os resíduos foram misturados e espalhados na lona plástica tornando-se uma amostra homogênea (amostra obtida pela melhor mistura possível das alíquotas dos resíduos – ABNT/NBR 10.007, 2004). Posteriormente foi realizado o procedimento de quarteamento, exemplificado na Figura 4.3, que constituiu na separação do total de resíduos, cerca de 400 kg, em quatro partes de aproximadamente 100 kg cada. Em seguida, descartaram-se duas partes diametralmente opostas, e as outras duas partes restantes, foram novamente homogeneizadas e o processo de quarteamento foi repetido até que se obteve o volume final desejado – uma amostra com aproximadamente 100 kg de RSU ou 1 contêiner de 240 litros. Após a coleta da amostra, o resíduo excedente do quarteamento foi reencaminhado para frente de trabalho do aterro.



Figura 4.1: A- Chegada do caminhão. B- RSU despejados no aterro da CTR-NI.



Figura 4.2: Pesagem dos contêineres.



Figura 4.3: Procedimento de quartejamento para amostragem – Amostra 1.

4.3 – Ensaio de Caracterização Físico-Química das Amostras de RSU

No aterro sanitário da CTR-NI e no laboratório da Geotecnia COPPE/UFRJ foram realizados, nas amostras de RSU, os seguintes ensaios:

- caracterização gravimétrica;
- determinação do teor de umidade;
- distribuição dos grupos de materiais, segundo a norma DGGT (1994);
- caracterização morfológica;
- determinação do teor de sólidos voláteis;
- determinação do poder calorífico.

4.3.1 – Equipamentos Utilizados

Para a execução dos ensaios de campo foram utilizadas as instalações e alguns equipamentos da CTR-NI, e para os ensaios de laboratório as instalações e equipamentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ. Na execução dos ensaios de determinação das características físico-químicas dos RSU foram utilizadas três estufas, com escala de temperatura variando de 30 a 150°C; balança eletrônica com capacidade de 1 kg com precisão de 0,01 g; balança eletrônica com capacidade de 50 kg com precisão de 0,1 kg; balança eletrônica de 500 kg com precisão de 0,2 kg; contêineres com capacidade de 240 litros; bandejas para as estufas; série de peneiras granulométricas (1 ½”, 1”, ¾”, 3/8” , 5/16”, 4, 8, 10 e 20); agitador de peneiras; mufla; e uma bomba calorimétrica. Os materiais utilizados estão apresentados nas Figuras 4.4 a 4.11.

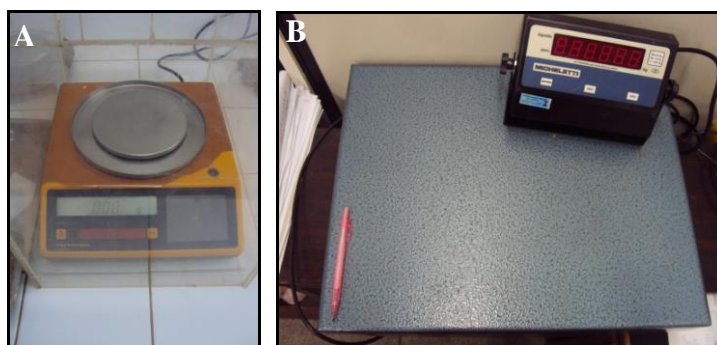


Figura 4.4: A- Balança eletrônica, marca Sartorius – modelo E2000D, com capacidade de 1 kg.

B- Balança eletrônica, marca Micheletti – modelo MIC 50, com capacidade de 50 kg.



Figura 4.5: B- Balança eletrônica, marca Confianteq – modelo 312E, com capacidade de 500 kg, (Unidade de Tratamento de RSS – CTR-NI).



Figura 4.6: Estufas.

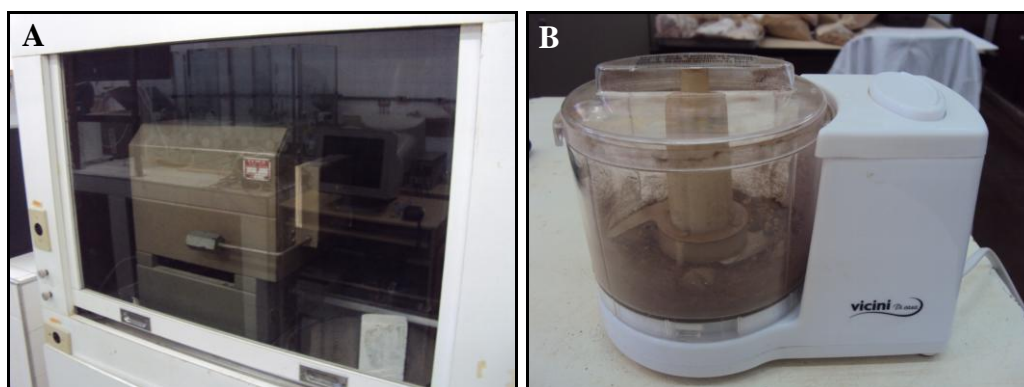


Figura 4.7: A- Mufla, marca Fornitec – modelo 1188. B- Processador de alimentos.

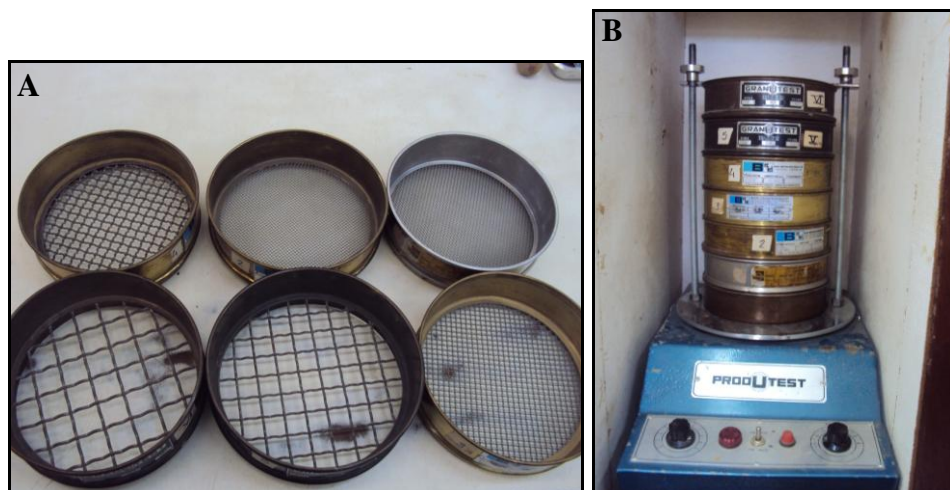


Figura 4.8: A- Série de peneiras granulométrica (1", ¾", 3/8", 4, 8, 10). B- Agitador, marca Produtest – modelo 4219.

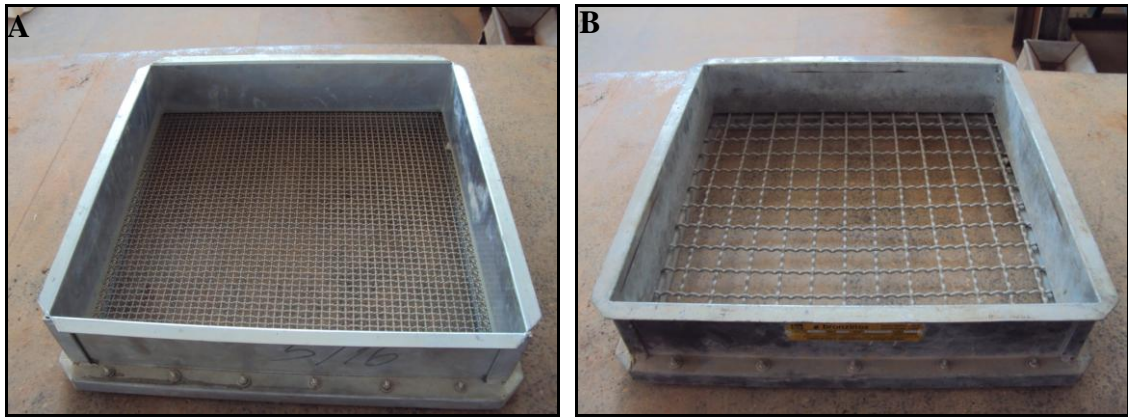


Figura 4.9: A- Peneira com malha de 8 mm - 5/16". B- Peneira com malha de 40 mm - 1 ½".



Figura 4.10: A- Peneira nº 20 – abertura de 0,84 mm. B- Contêiner – 240 litros.



Figura 4.11: Bomba calorimétrica automática, marca IKA – modelo C200.

4.3.2 – Identificação dos Resíduos

A primeira atividade realizada foi a identificação dos resíduos de onde foram coletadas as amostras para as execuções dos ensaios. Nesta etapa, foram considerados os seguintes critérios:

- quantidade de resíduo recebido (t/dia);
- classe do resíduo;
- origem do resíduo;
- tipo de fornecimento;
- estimativa da homogeneidade dos resíduos.

A definição da classe dos resíduos foi feita segundo definição da ABNT em sua norma NBR-10.004/2004. Quanto à sua origem, os resíduos foram classificados como doméstico ou público (resíduos oriundos de jardins, praças públicas, feiras livres, varrição, poda, etc.). No tipo de fornecimento procedeu-se a especificação de como o resíduo foi coletado e transportado (caminhões compactadores, basculantes, contêiner, carretas, etc.). E a estimativa da homogeneidade dos resíduos refere-se à presença de apenas uma classe de resíduo ou mistura de classes.

4.3.3 – Caracterização Gravimétrica dos RSU

A metodologia empregada para a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, que chegam ao aterro sanitário da CTR-NI, foi baseada no procedimento especificado no item 4.2, sendo acrescida a separação dos resíduos em frações, conforme pode ser observada na Figura 4.12.

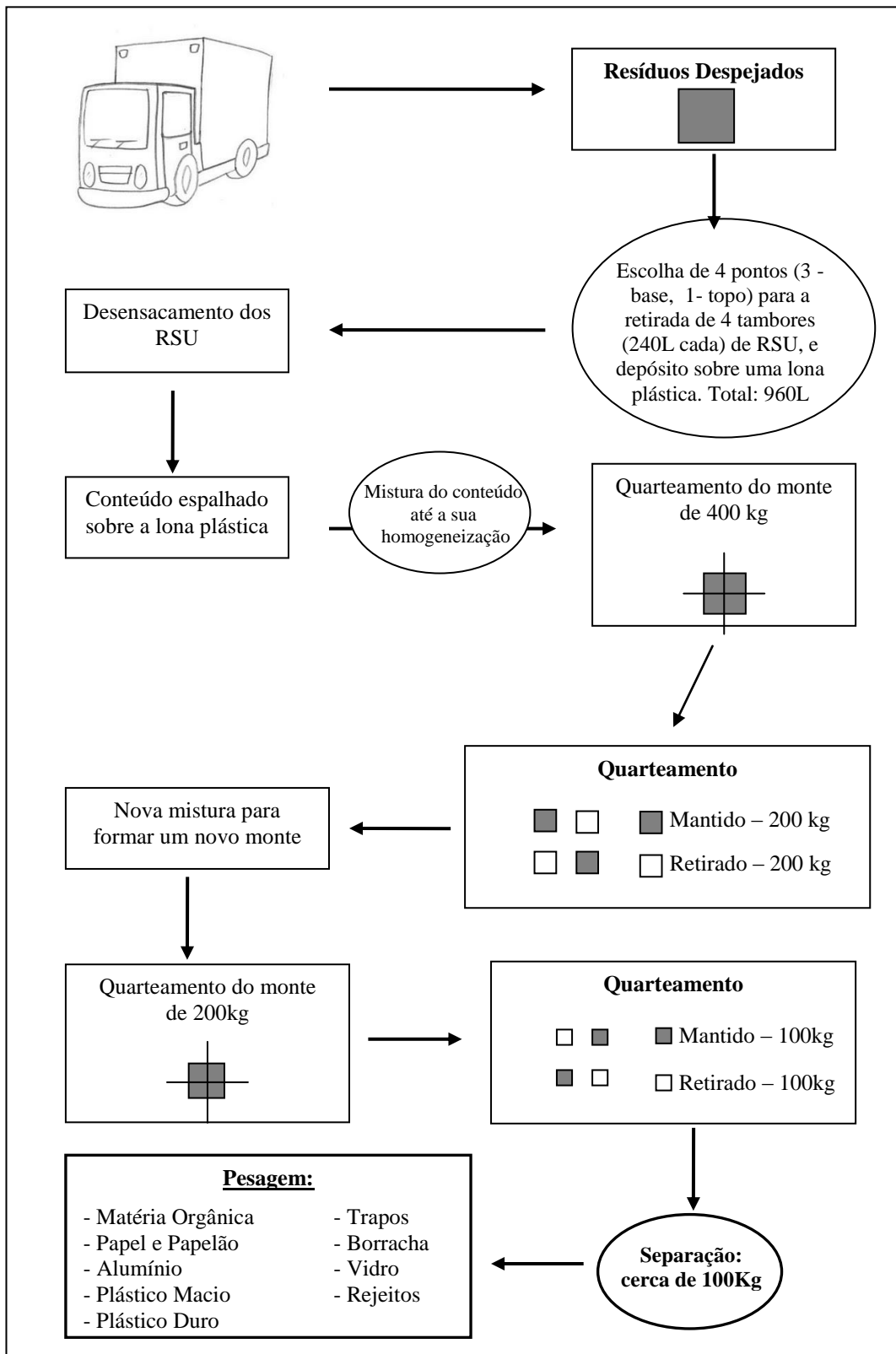


Figura 4.12: Metodologia para caracterização gravimétrica dos RSU.

O total de cerca de 100 kg de RSU que restaram, foram espalhados para serem separados nas seguintes frações (Figura 4.13 e 4.14):

- Papel / Papelão;
- Plástico Duro;
- Plástico Macio;
- Matéria Orgânica (restos de alimentos e folhas de vegetais);
- Borracha;
- Couro;
- Isopor;
- Madeira;
- Trapos;
- Metais;
- Vidro;
- Fraldas;
- Espuma;
- Outros.



Figura 4.13: Separação dos materiais em frações.



Figura 4.14: Triagem dos RSU em frações.

Depois que os materiais foram separados, estes foram colocados em sacos plásticos para serem pesados. Após a pesagem foi feito o cálculo da porcentagem sobre o peso total e, assim, obteve-se a porcentagem de cada material coletado.

Nas Figuras 4.15 a 4.19, são apresentadas as amostras representativas das diferentes frações, obtidas durante os ensaios de caracterização gravimétrica dos RSU.



Figura 4.15: A- Fração: BORRACHA. B- Fração: METAIS NÃO FERROSOS.



Figura 4.16: A- Fração: OUTROS. B- Fração: VIDRO.



Figura 4.17: Fração: PAPEL/PAPELÃO.



Figura 4.18: A- Fração: PLÁSTICO DURO. B- Fração: PLÁSTICO MACIO



Figura 4.19: A- Fração: TRAPO. B- Fração: MATÉRIA ORGÂNICA.

4.3.4 – Determinação do Teor de Umidade

As amostras de resíduos sólidos urbanos, já separadas em frações, foram transferidas para as bandejas e encaminhadas para pesagem (Figura 4.20), e posteriormente foram levadas para a estufa.

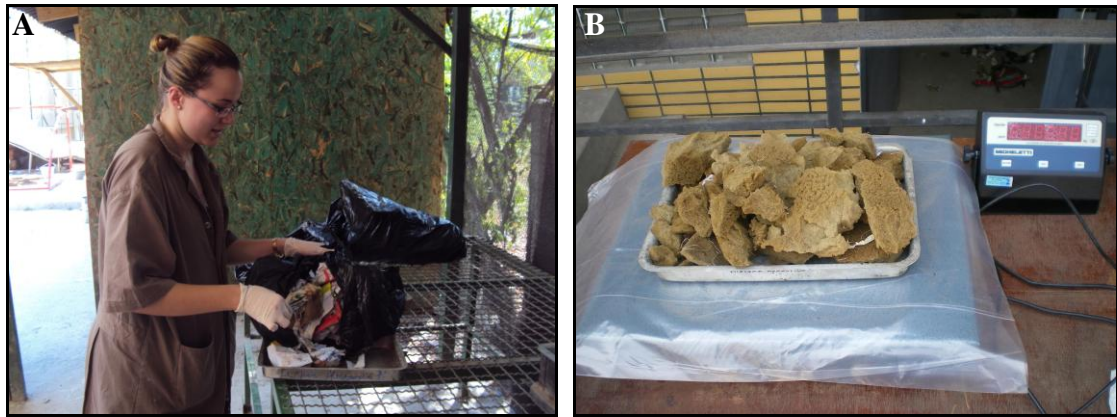


Figura 4.20: A- Transferência das amostras para as bandejas. B- Pesagem da fração espuma.

As amostras foram mantidas em estufa a uma temperatura de 50°C (Figura 4.21), sendo este valor adotado com o objetivo de evitar a queima da matéria orgânica. Após se observar a constância de peso das amostras, estas foram retiradas da estufa e pesadas. O tempo médio de secagem das amostras, para determinação da umidade, variou de 48 a 72 horas.



Figura 4.21: Secagem das amostras na estufa a uma temperatura de 50°C.

Em mecânica dos solos, defini-se teor de umidade como sendo a relação entre o peso da água e peso dos sólidos, no entanto, no estudo da mecânica dos resíduos esta definição pode causar problema (IZZU, 2008). Quando se utiliza a definição de teor de umidade da mecânica dos solos no estudo dos resíduos, muito frequentemente, o valor da umidade passará de 100%, podendo dificultar a análise dos resultados. Por esse

motivo, em geotecnia ambiental, mas especificamente no estudo da mecânica dos resíduos e no estudo do fluxo de líquido em RSU, define-se umidade sob a base úmida.

O teor de umidade foi calculado pela Equação 4.1, sob base úmida:

$$\% W_{b\acute{u}mida} = \frac{P_{bu} - P_f}{P_{bu}} \times 100 \dots\dots\dots(4.1)$$

Em que:

$W_{b\acute{u}mida}$ – Teor de umidade em base úmida;

P_{bu} – Peso em base úmida;

P_f – Peso final (peso do resíduo seco em estufa a 50°C, até constância de peso).

A determinação da umidade foi realizada para cada fração dos RSU conforme pode ser observado nas Figuras 4.22 e 4.23.



Figura 4.22: A- Fração papel/papelão, fralda e couro na estufa.



Figura 4.23: Fração capim – sequência do procedimento da determinação do teor de umidade.

4.3.5 – Distribuição dos Grupos de Materiais

Após o processo de secagem em estufa a 50°C, os RSU foram encaminhados para a mesa de triagem para a separação dos materiais em grupos, como estabelecido na norma alemã DGGT (1994). Após a triagem em seus respectivos grupos, as frações foram encaminhadas para pesagem.

Os grupos de materiais podem ser observados nas Figuras 4.24 a 4.28. O grupo de peças grandes (Figura 4.24) não foi considerado no experimento, sendo separado no momento da coleta das amostras.



Figura 4.24: PEÇAS GRANDES (Aterro de Nova Iguaçu, 2010).

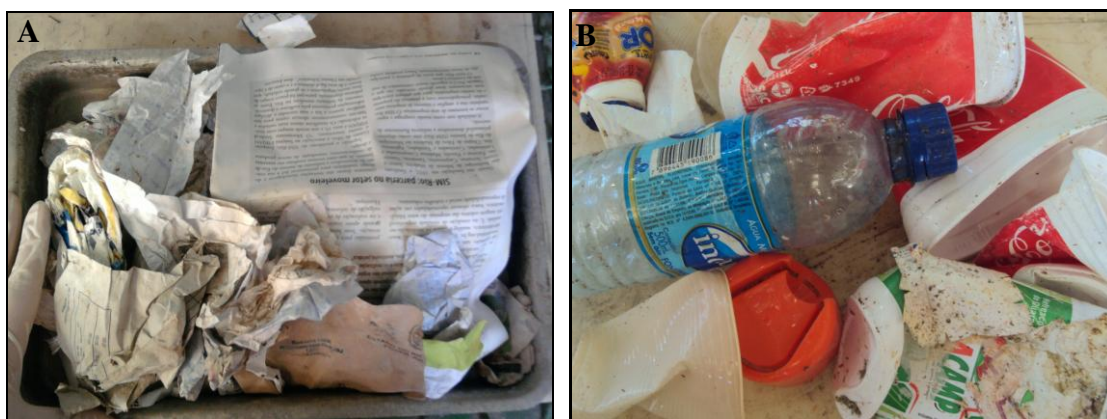


Figura 4.25: A- PAPEL/PAPELÃO. B- PLÁSTICO DURO.



Figura 4.26: A- MINERAIS. B- ORGÂNICO.



Figura 4.27: PLÁSTICO MACIO.



Figura 4.28: A- METAIS. B- MADEIRA.

4.3.6 – Caracterização Morfológica dos RSU

A caracterização morfológica foi realizada logo após a triagem dos resíduos sólidos urbanos em grupos de materiais, conforme a norma alemã DGGT (1994).

A- Dimensões

Nas Figuras 4.29 a 4.32 são ilustrados a classificação por dimensão para os grupos de materiais.



Figura 4.29: DIMENSÃO 0 – Classificação morfológica por grupos de materiais.



Figura 4.30: DIMENSÃO 1 – Classificação morfológica por grupos de materiais.



Figura 4.31: DIMENSÃO 2 – Classificação morfológica por grupos de materiais.



Figura 4.32: DIMENSÃO 3 – Classificação morfológica por grupos de materiais.

B- Tamanho da peça

A classificação por tamanho da peça foi realizada por meio da classificação visual dos RSU seguida de peneiramento. Primeiramente, as frações com tamanhos maiores que 40 mm foram separadas visualmente em três grupos segundo a norma DGGT (1994), de 40 mm a 120 mm, de 120 mm a 500 mm, e de 500 mm a 1000 mm. Para auxiliar essa análise visual foi utilizada uma régua de 500 mm (Figura 4.33). A fração menor que 40 mm foi peneirada seguindo o mesmo procedimento aplicado a solos de acordo com a norma técnica brasileira NBR 7181 (ABNT, 1984). Essa fração dos resíduos foi submetida a uma série de peneiras granulométricas (1 ½", 1", ¾", 3/8", 5/16", 4, 8, 10), conforme Figura 4.34.

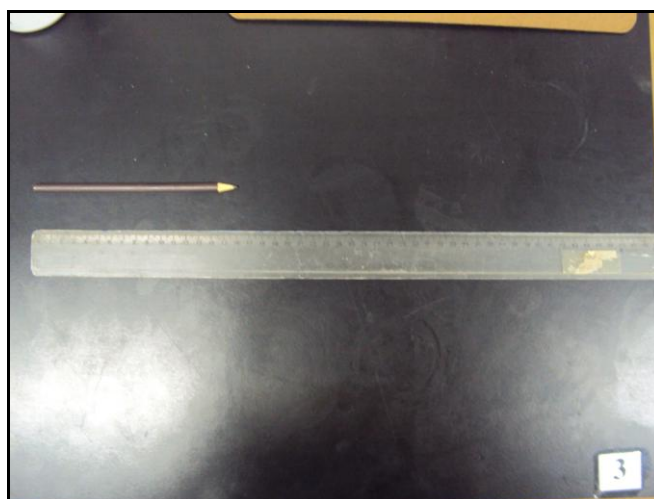


Figura 4.33: Régua de 500 mm.



Figura 4.34: A- Peneiramento com série de peneiras granulométricas. B- Pesagem do resíduo passante da peneira 8. C- Fração não passante da peneira 5/16” (Classificação por tamanho da peça).

4.3.7 – Determinação do Teor de Sólidos Voláteis

O ensaio para a determinação do teor de sólidos voláteis foi realizado segundo LANGE et al. (2003). A preparação da amostra para o ensaio consistiu em triturar os resíduos, por meio de um processador de alimentos, com o objetivo de obter uma amostra com granulometria menor que 0,84 mm, equivalente a peneira 20 (Figura 4.35).

O ensaio consistiu em acondicionar 5 g da amostra obtida em cápsulas de porcelana, e colocar para a calcinação em mufla a uma temperatura de 550°C, por 2 horas (Figura 4.36). Após esse período a amostra permanece na mufla por mais uma hora para a confirmação do resultado. Passado este tempo, a amostra foi resfriada num dessecador, e pesada em uma balança analítica. O teor de sólidos voláteis é obtido utilizando-se a Equação 4.2.

$$\% \text{ S.V.} = \frac{P_{bs} - P_f}{P_{bs}} \times 100 \dots\dots\dots(4.2)$$

Em que:

S.V. – Teor de sólidos voláteis

P_{bs} – Peso em base seca (peso do resíduo seco em estufa a 50°C, até constância de peso);

P_{final} – Peso final

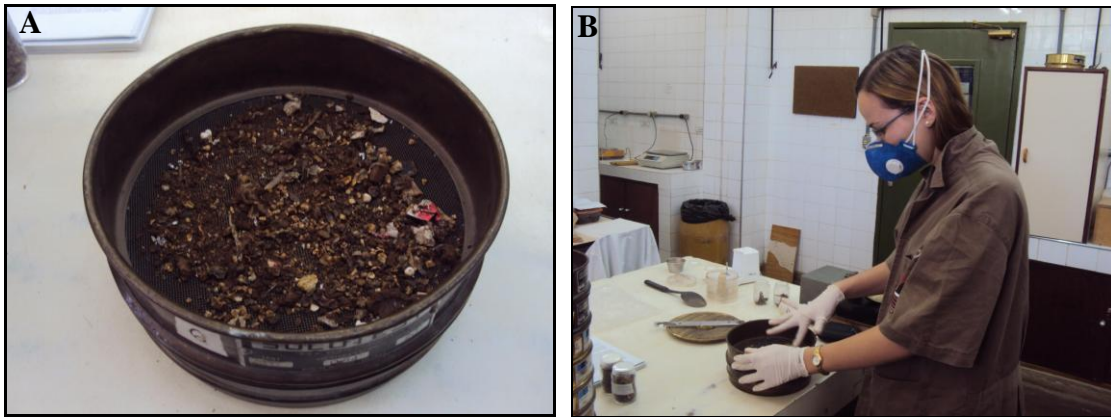


Figura 4.35: A- Resíduos após trituração. B- Peneiramento em malha de 0,84mm de abertura.



Figura 4.36: Cápsula de porcelana na mufla a 550°C.

4.3.8 – Determinação do Poder Calorífico

Para a determinação do poder calorífico dos RSU em uma bomba calorimétrica, é utilizado no máximo 1 grama de material, o que é uma quantidade muito pequena quando comparada ao elevado volume e variedade dos RSU. Diante disto, foi necessário homogeneizar as amostras e realizar o processo de quarteamento até a obtenção de uma amostra de cerca de 500 g. Essa amostra foi encaminhada para o laboratório para a determinação do teor de umidade e posteriormente foi triturada.

Na etapa de trituração no processador de alimentos, foram retirados os materiais inertes, como o alumínio e o vidro, e os materiais de elevada densidade como o couro e a borracha, pois o equipamento não suporia triturar os mesmos.

As amostras de RSU trituradas e homogêneas foram submetidas a ensaios para determinação do poder calorífico, conforme as normas ASTM D240-87 e DIN CEN/TS 15.400 (2006).

A preparação das amostras pode ser observada nas Figuras 4.37 e 4.38.

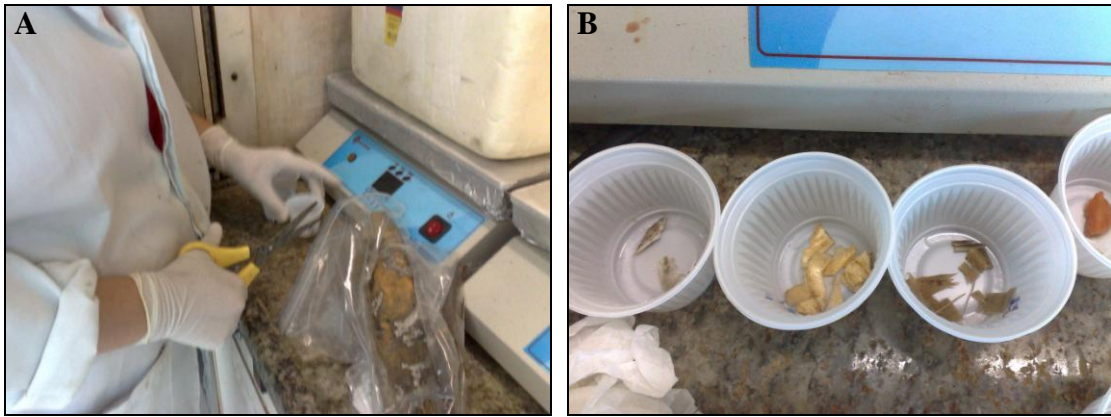


Figura 4.37: A- Diminuição do tamanho das frações. B- Amostras de madeira e fibra, após diminuição de tamanho.



Figura 4.38: Amostras após terem sido picadas e/ou trituradas.

O processo de combustão foi realizado em uma bomba calorimétrica sob condições definidas, segundo a ASTM D240-87, método padrão de teste para o calor da combustão de combustíveis hidrocarbonetos líquidos por meio da bomba calorimétrica (Figura 4.39). Esta norma foi utilizada devido à falta de uma norma específica para a determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. Para este ensaio, é necessário conhecer a massa da amostra, o poder calorífico da cápsula e do fio de algodão¹.

Para a determinação do poder calorífico, cerca de 1 grama do material foi colocada em um cadinho, e este foi fechado em um recipiente de metal com atmosfera de oxigênio sob alta pressão (Figuras 4.40). A bomba é então mergulhada em um recipiente com parede dupla contendo água em seu interior e a ignição do combustível é

¹ Fio de algodão: é utilizado para auxiliar na queima do material presente no cadinho, seus valores são conhecidos.

realizada a partir de conexão elétrica externa. A temperatura da água é medida como uma função do tempo antes e depois do processo de ignição e, conhecendo-se a massa de água do sistema, massa e calor específico do recipiente, e as curvas de aquecimento e resfriamento da água, a energia liberada durante o processo de combustão pode ser determinada.

Foram realizados 17 (dezesete) ensaios para a determinação do poder calorífico de cada uma das frações encontradas na caracterização gravimétrica das amostras 6 (Nova Iguaçu) e 9 (Rio de Janeiro).

Também foram analisadas 4 (quatro) amostras para a determinação do poder calorífico dos RSU com todas as frações não inertes homogeneizadas, sendo:

- 1 amostra da Classe A de Nova Iguaçu (Amostra 4);
- 1 amostra da Classe B de Nova Iguaçu (Amostra 7);
- 1 amostra da Classe C de Nova Iguaçu (Amostra 6);
- 1 amostra do Município do Rio de Janeiro (Amostra 9).

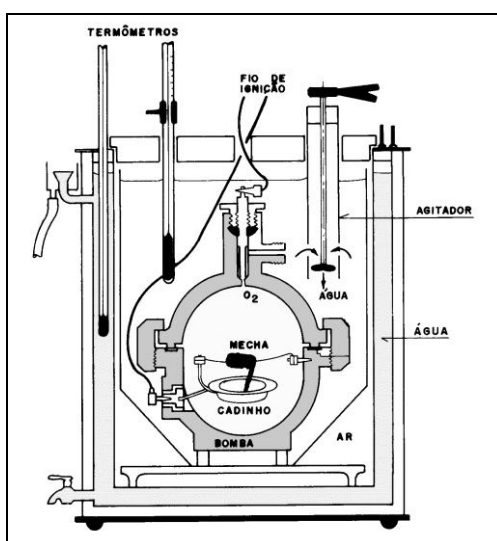


Figura 4.39: Desenho esquemático da bomba calorimétrica (CIAMPI, 1992).



Figura 4.40: A- Amostra de RSU no cadinho. B- Cadinho inserido na cápsula de metal.

CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Resultados Obtidos nos Ensaios de Campo e Laboratório

5.1.1. Identificação dos Resíduos

Para cada amostra de RSU coletada para os ensaios foram feitas as identificações conforme especificação do item 4.3.2. Os ensaios ocorreram nos meses de fevereiro, agosto e novembro de 2010, tendo sido analisadas 11 (onze) amostras. Cabe ressaltar que a CTR-NI recebe resíduos de diversas classes, transportados em caminhões basculantes, compactadores e em carretas. Para retirada das amostras foram eleitos somente caminhões e carretas provindos da coleta de resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu, empresa Green Life, e de RSU do município do Rio de Janeiro, empresa Carfilub. Na Tabela 5.1 observam-se os resultados obtidos na identificação dos resíduos.

Tabela 5.1: Identificação dos resíduos da classe IIA*, considerados homogêneos, de onde foram retiradas as amostras para os ensaios.

<i>Identificação dos Resíduos/ Amostra</i>	<i>Quantidade de resíduo em cada caminhão/carreta(Kg)**</i>	<i>Origem do resíduo</i>	<i>Tipo de fornecimento do resíduo</i>
01	27.410,00	Austin – NI	Carreta
02	4.950,00	Lado II – NI	Caminhão compactador
03	2.010,00	Adrianópolis – NI	Caminhão basculante
04	8.870,00	Centro – NI	Caminhão compactador
05	4.310,00	Cabuçu – NI	Caminhão compactador
06	9.610,00	Cabuçu – NI	Caminhão compactador
07	7.560,00	Palhada – NI	Caminhão compactador
08	6050,00	Centro – NI	Caminhão compactador
09	25.610,00	Caju – RJ	Carreta
10	23.100,00	Caju – RJ	Carreta
11	18.020,00	Jacarepaguá – RJ	Carreta

* Classificação segundo a NBR 10.004/2004.

** Quantidade de onde foi coletada a amostra de RSU.

5.1.2. Coleta e Amostragem

As amostras foram coletadas e amostradas conforme procedimento especificado no item 4.2. Na Tabela 5.2 é apresentado o peso final de cada amostra após o processo de quarteamento, a classe social e a data do ensaio.

Tabela 5.2: Peso das amostras quarteadas para o ensaio de caracterização gravimétrica , classe social e data do ensaio.

<i>Local de origem do RSU</i>	<i>Amostra</i>	<i>Classe Social</i>	<i>Data do Ensaio</i>	<i>Peso da amostra (Kg)</i>
NI	01	C	03/02/2010	47,20
NI	02	C	05/02/2010	52,60
NI	03	C	02/08/2010	120,60
NI	04	A	06/08/2010	100,90
NI	05	C	11/08/2010	111,60
NI	06	C	24/11/2010	89,90
NI	07	B	02/02/2010	78,50
NI	08	B	08/02/2010	75,90
RJ	09	- *	26/11/2010	100,20
RJ	10	- *	29/11/2010	101,30
RJ	11	- *	26/11/2010	87,70
Total (Kg)				966,40

* As amostras provenientes do Rio de Janeiro não foram classificadas de acordo com a classe social, pois ainda não foi realizado um estudo relacionando os caminhões encaminhados para a disposição final com a classe social.

5.1.3. Ensaios de Caracterização Físico-Química das Amostras de RSU

5.1.3.1. Caracterização Gravimétrica dos RSU

A caracterização gravimétrica dos RSU foi realizada a partir dos procedimentos especificados no item 4.3.3. A seguir serão apresentados, separadamente, os resultados das caracterizações gravimétricas dos RSU de Nova Iguaçu e do Rio de Janeiro.

A - Caracterização Gravimétrica dos RSU de Nova Iguaçu

Na Figura 5.1 são ilustrados os resultados da caracterização gravimétrica dos RSU de Nova Iguaçu de todas as amostras analisadas. No Apêndice 2 são apresentados os resultados para cada amostra de RSU de Nova Iguaçu.

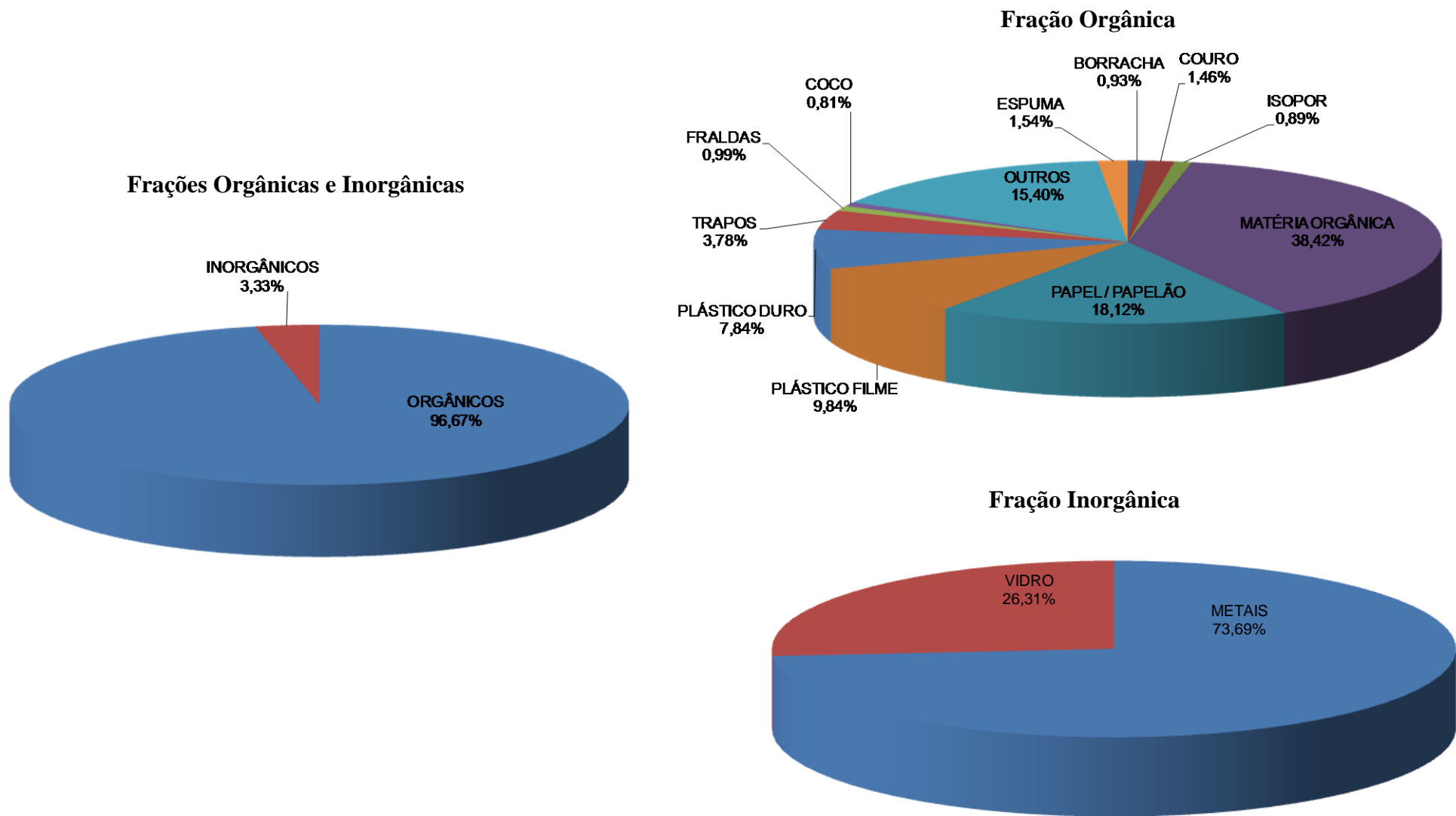


Figura 5.1: Distribuição das frações em orgânicos e inorgânicos do total de amostras de Nova Iguaçu.

Na Figura 5.1 é apresentada a distribuição da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Nova Iguaçu em orgânicos e inorgânicos, e a partir desta pode ser observado que cerca de 97% dos resíduos são orgânicos, e somente 3% são compostos inorgânicos. Da parte orgânica, aproximadamente 38% é composta de matéria orgânica, 18% de papel/papelão, 15% da fração outros, 10% de plástico macio e 8% de plástico duro, sendo estes os principais elementos que compõem os RSU de Nova Iguaçu. A fração inorgânica contribui apenas com 3% do total de RSU, e deste total cerca de 74% são metais, e 26% vidros.

A fração metais encontrada nos RSU de Nova Iguaçu é composta principalmente por latas de bebidas, papel alumínio de cozinha e latas de inseticidas spray; a fração papel/papelão por sobras de jornais, revistas e fragmentos de papel; a fração plástico por garrafas de refrigerantes, embalagens de alimentos e por sacolas de supermercado; a fração trapo contém sobras de tecidos usados para limpeza e por roupas antigas; a fração vidro é composta basicamente por garrafas de bebidas, lâmpadas e potes de conservas; a fração isopor, por embalagem de alimentos; a fração outros apresenta resíduos de pequena granulometria, predominantemente materiais orgânicos já em degradação; a fração borracha é composta principalmente por calçados; e a fração matéria orgânica, por sobras de alimentos, folhas e sementes.

Na Figura 5.2 é apresentada a distribuição da caracterização gravimétrica do município de Nova Iguaçu por classes sociais. É possível observar que na classe A há uma participação expressiva das frações matéria orgânica, trapos, espuma, isopor, vidro e fraldas. A maior participação desses elementos, exceto a fração matéria orgânica, nos resíduos sólidos urbanos que chegam ao aterro sanitário da CTR-NI pode ser explicada pelo maior poder aquisitivo dessa população, acarretando maior consumo de bens industrializados como fraldas, garrafas de vidros e roupas. A fração metais não ferrosos não foi encontrada na amostra 4, classe A, mas isto não significa que este material não esteja presente no consumo da população. Esta fração pode não estar sendo encaminhada para o aterro, devido à interceptação desses materiais por catadores, já que possui elevado valor agregado para a venda a indústria recicladora. O percentual da fração matéria orgânica na amostra 4 se assemelha ao da amostra 6 (classe C). Este elevado teor de materiais orgânicos é atípico para a classe A, pois comumente a alimentação desta população é baseada em alimentos industrializados. Esse resultado pode ser explicado pela variabilidade da coleta dos resíduos, acarretando em mudanças na composição típica dos resíduos sólidos urbanos.

A distribuição das frações da classe C e suas respectivas percentagens também são apresentadas na Figura 5.2. A fração matéria orgânica se destaca entre as demais frações, com cerca de 45% do total. Esse elevado percentual pode ser explicado devido esta população ter baixo poder aquisitivo, apresentando assim, maior descarte de materiais orgânicos. Os percentuais das frações da classe B são mais expressivos nas frações papel/papelão, plástico duro, metais não ferrosos, couro e outros.

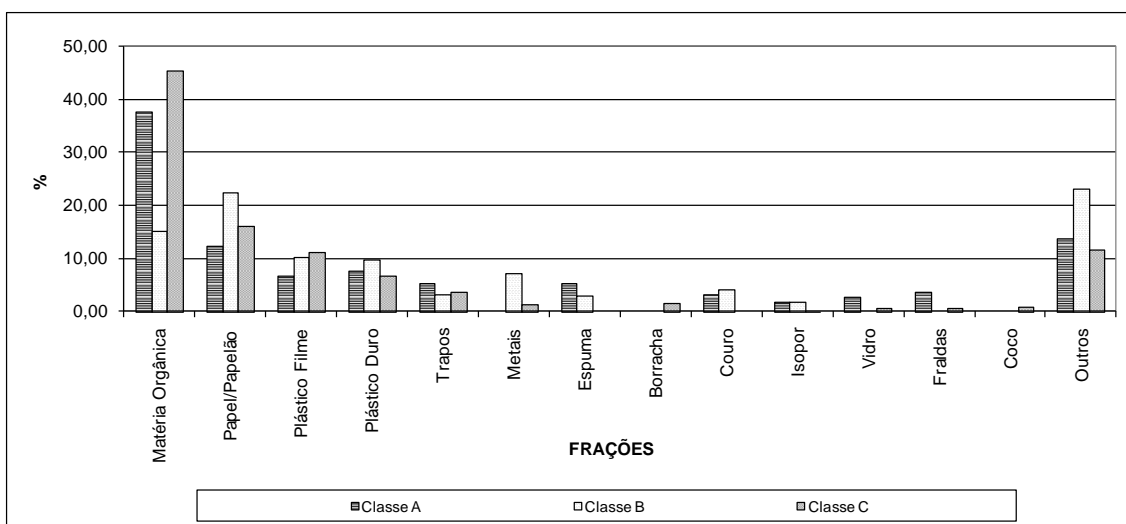


Figura 5.2: Distribuição percentual das frações dos RSU de Nova Iguaçu em classes sociais.

B - Caracterização Gravimétrica dos RSU do Rio de Janeiro

Nas Figuras 5.3 a 5.5, são ilustrados os resultados da caracterização gravimétrica dos RSU do Rio de Janeiro por amostras.

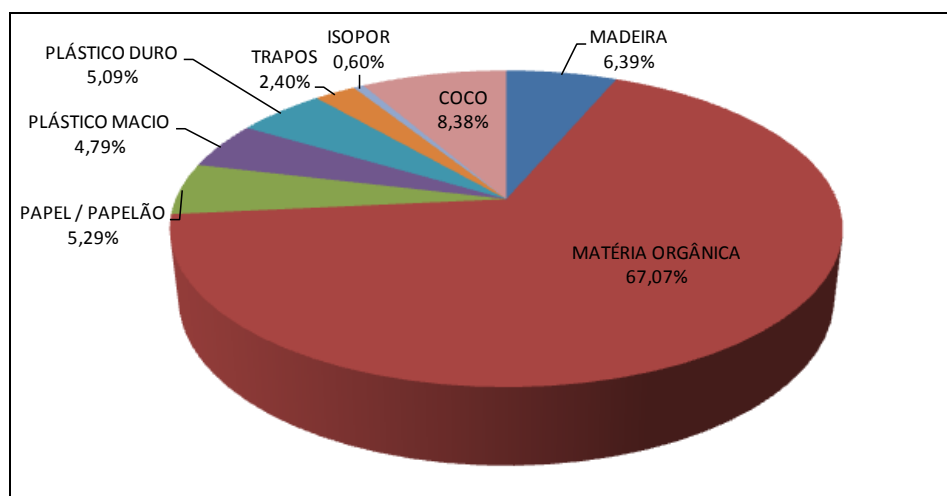


Figura 5.3: Amostra 9 - RSU da Estação de Transferência do Caju.

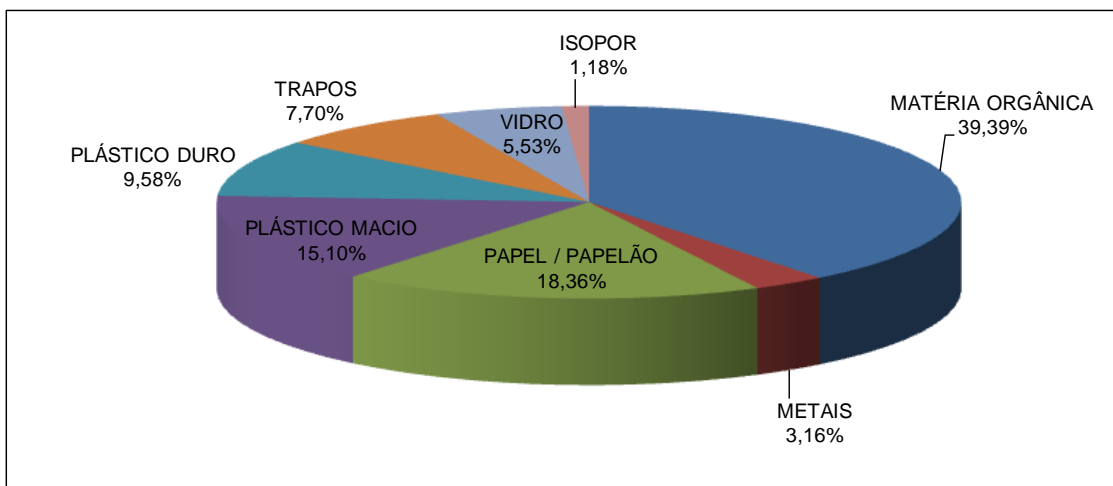


Figura 5.4: Amostra 10 - RSU da Estação de Transferência do Caju.

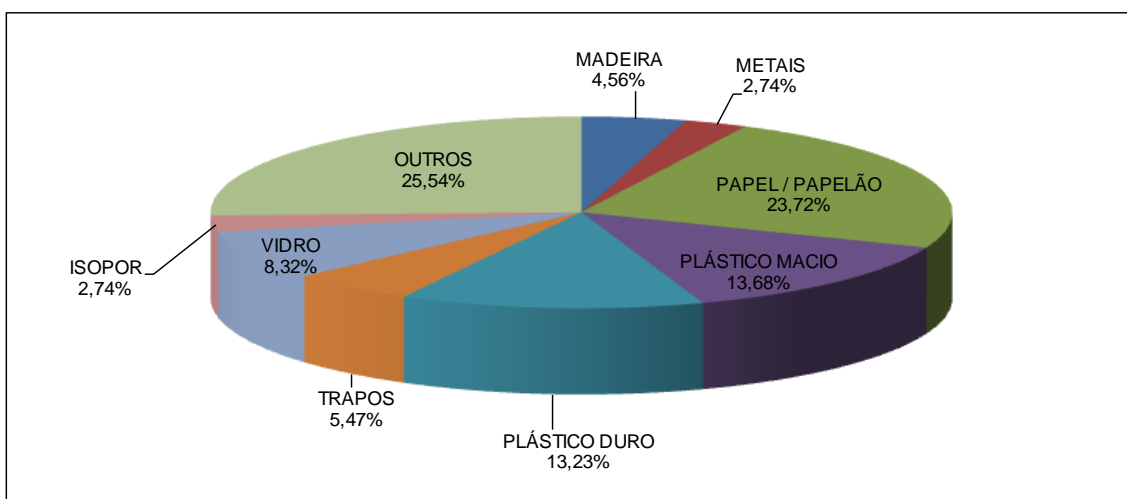


Figura 5.5: Amostra 11 - RSU da Estação de Transferência de Jacarepaguá.

Os resultados das caracterizações gravimétricas das amostras 09 e 10 provenientes do Caju/RJ apresentam diferenças significativas com relação ao resultado da amostra 11 de Jacarepaguá/RJ. Por exemplo, nas amostras do Caju a porcentagem de matéria orgânica variou na faixa de 39% a 70%, enquanto na amostra de Jacarepaguá, a fração outros, que contém materiais orgânicos em sua composição, apresentou apenas 26%.

Nas Figuras 5.6 e 5.7, são ilustrados os percentuais das frações recicláveis encontradas nos resíduos sólidos urbanos provenientes das Estações de Transferência do Caju e de Jacarepaguá.

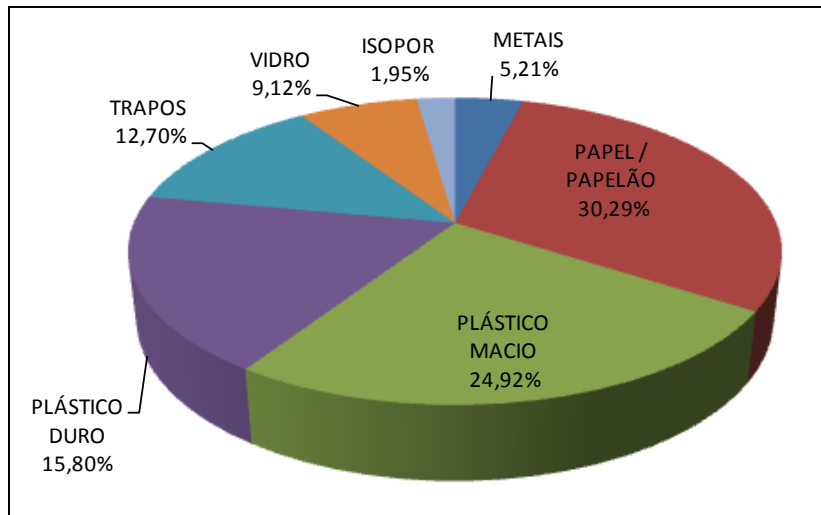


Figura 5.6: Frações recicláveis dos RSU da Estação de Transferência do Caju.

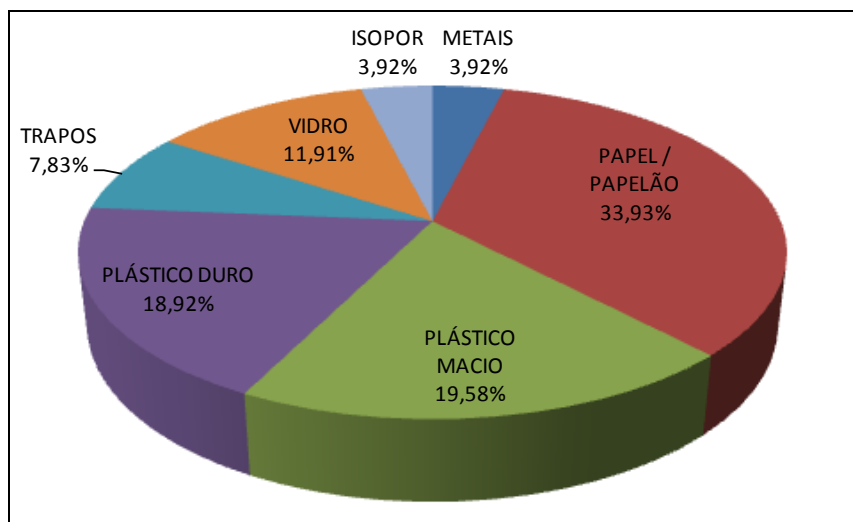


Figura 5.7: Frações recicláveis dos RSU da Estação de Transferência de Jacarepaguá.

Os percentuais de papel/papelão, plástico duro, vidro e isopor são maiores na amostra de Jacarepaguá do que nas amostras do Caju (Figuras 5.6 e 5.7). Essa diferença entre as amostras pode ser explicada pelo fato de a Usina de Transferência de Jacarepaguá receber resíduos de parte da Zona Oeste, de alto poder aquisitivo, como a Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes e a Freguesia de Jacarepaguá, que consomem mais alimentos industrializados, logo mais embalagens plásticas, isopores e garrafas de vidro, contribuindo para o aumento desses elementos na composição dos RSU, e na conseqüente diminuição da quantidade de materiais orgânicos.

Na Figura 5.8 é apresentada a distribuição da caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município Rio de Janeiro em orgânicos e inorgânicos, e a

partir desta pode ser observado que cerca de 94% dos resíduos são orgânicos, e somente 6% são compostos inorgânicos.

Da parte orgânica, aproximadamente 28% é composta de matéria orgânica, 17% de papel/papelão, 12% de plástico filme e 10% de plástico duro, sendo estes os principais elementos que compõem os RSU do Rio de Janeiro. A fração inorgânica contribui apenas com 6,40% do total de resíduos, e deste total 70% são vidros e 30% metais não ferrosos.

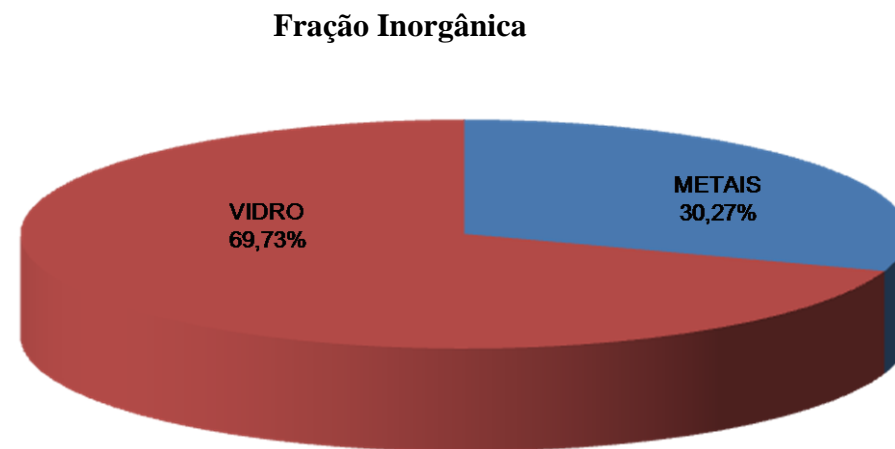
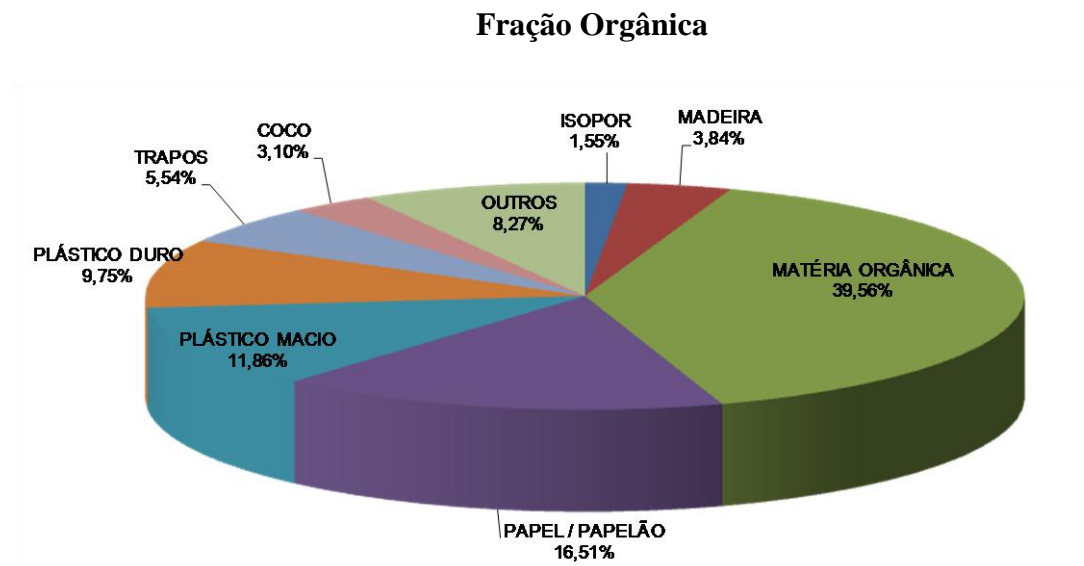
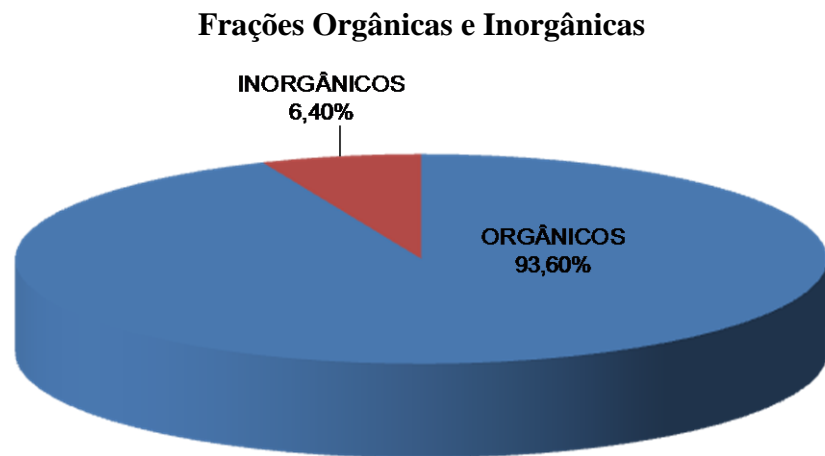


Figura 5.8: Distribuição das frações em orgânicos e inorgânicos do total de amostras do Rio de Janeiro.

Na Tabela 5.3 podem ser observados os resultados da caracterização gravimétrica da área de planejamento 1, que abrange a estação de transferência do Caju, e das amostras 9 e 10. A partir destes resultados foi possível comparar os dados da COMLURB (2009), com os resultados obtidos em campo.

Os resultados da análise gravimétrica dos componentes papel/papelão, plástico macio, metal e outros da amostra 10, foram semelhantes aos resultados da AP 1. Já os resultados da amostra 9 se distanciaram dos resultados obtidos pela COMLURB (2009), exceto o percentual do componente plástico duro.

Tabela 5.3: Comparação dos resultados da caracterização gravimétrica do Caju.

<i>Componentes</i>	<i>AP 1 – Caju (%)*</i>	<i>Amostra 9 (%)</i>	<i>Amostra 10 (%)</i>
Papel/Papelão	15,95	5,29	18,36
Plástico Duro	5,78	5,09	9,58
Plástico Macio	13,08	4,79	15,10
Vidro	2,58	0,00	5,53
Orgânico	55,47	75,45	39,39
Metal	1,56	0,00	3,16
Inerte**	1,56	0,00	0,00
Outros	4,03	9,38	8,88
Total Geral	100,00	100,00	100,00

* Dados COMLURB (2009).

** A fração inerte é composta por pedras e louças/cerâmicas.

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados da caracterização gravimétrica da área de planejamento 4, que abrange a estação de transferência de Jacarepaguá, e da amostra 11. Apenas os percentuais dos componentes plástico macio e metal da amostra 11, foram semelhantes aos resultados da AP 4.

Tabela 5.4: Comparação dos resultados da caracterização gravimétrica de Jacarepaguá.

<i>Componentes</i>	<i>AP 4 – Jacarepaguá (%)**</i>	<i>Amostra 11 (%)</i>
Papel/Papelão	14,50	23,72
Plástico Duro	5,28	13,23
Plástico Macio	15,27	13,68
Vidro	3,61	8,32
Orgânico	54,14	25,54
Metal	1,70	2,74
Inerte*	1,25	-
Outros	4,25	12,77
Total Geral	100,00	100,00

* A fração inerte é composta por pedras e louças/cerâmicas.

** Dados COMLURB (2009).

Na Tabela 5.5 é possível visualizar os resultados percentuais das caracterizações gravimétricas das 11 amostras provenientes da coleta convencional dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro.

Tabela 5.5: Caracterização gravimétrica dos RSU de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro provenientes da coleta convencional.

<i>Resíduos Sólidos Urbanos – Coleta Convencional (%)</i>												
<i>Amostra</i>	<i>Materiais Orgânicos</i>	<i>Papel/ Papelão</i>	<i>Plástico Filme</i>	<i>Plástico Duro</i>	<i>Trapos</i>	<i>Metais</i>	<i>Espuma</i>	<i>Borracha</i>	<i>Couro</i>	<i>Isopor</i>	<i>Vidro</i>	<i>Fraldas</i>
1	75,04	7,10	13,96	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	46,39	15,59	14,58	6,94	9,13	1,14	0,00	4,80	0,00	0,00	1,43	0,00
3	71,14	14,1	5,97	2,99	1,49	0,41	0,00	1,99	0,00	1,00	0,91	0,00
4	51,26	12,38	6,74	7,63	5,25	0,00	5,30	0,00	3,17	1,90	2,80	3,57
5	57,35	18,73	6,27	6,72	5,47	0,81	0,00	1,06	0,00	0,00	1,08	2,51
6	41,27	24,58	14,79	13,36	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	46,24	21,02	8,03	12,23	0,00	5,48	5,85	0,00	0,00	1,15	0,00	0,00
8	30,17	23,98	12,65	7,11	6,46	8,96	0,00	0,00	8,3	2,37	0,00	0,00
9	81,84	5,29	4,79	5,09	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00
10	39,39	18,36	15,1	9,58	7,70	3,16	0,00	0,00	0,00	1,18	5,53	0,00
11	30,1	23,72	13,68	13,23	5,47	2,74	0,00	0,00	0,00	2,74	8,32	0,00
Média	51,84	16,8	10,6	8,07	4,12	2,43	1,01	0,71	1,04	0,99	1,82	0,55
Mediana	46,39	18,36	12,65	7,11	5,25	1,14	0,00	0,00	0,00	1,00	0,91	0,00
Desvio Padrão	16,82	6,32	3,98	3,44	2,96	2,72	2,15	1,43	2,47	0,95	2,61	1,19

Na Tabela 5.6 são apresentados os teores de materiais orgânicos dos resíduos sólidos urbanos estudados em comparação com algumas cidades brasileiras e estrangeiras. O teor de matéria orgânica do município de Nova Iguaçu (56%) mais se aproxima do resultado da cidade de Salvador. Já o resultado de teor de materiais orgânicos do município do Rio de Janeiro (50%) está próximo dos resultados das cidades de Dona Juana (Colômbia), Brasília e Fengjie. Esses estudos são de difícil comparação, visto que os RSU são muito heterogêneos, variam de acordo com as estações do ano, com o nível cultural, com a religião, além de terem sido realizados em anos diferentes. No entanto, esses dados permitem observar uma taxa de variação do teor de materiais orgânicos, variando de 28% a 60%. As taxas mais baixas são principalmente de países desenvolvidos, e as mais altas de países em desenvolvimento.

Tabela 5.6: Teor de materiais orgânicos nos RSU de algumas cidades brasileiras e estrangeiras.

<i>Cidade</i>	<i>Teor de Materiais Orgânicos (Peso percentual)</i>
Salvador (Brasil)*	60%
Nova Iguaçu (Brasil)	56%
Dona Juana (Colômbia)*	50%
Rio de Janeiro (Brasil)	50%
Brasília (Brasil)*	49%
Fengjie (China)**	49%
Bangkok (Tailândia)*	44%
Genebra (Suíça)*	28%

*Resultados de MANASSERO *et al.* (1996)

** Resultados de LI'AO *et al.* (2009)

5.1.3.2. Teor de Umidade

Os teores de umidade das amostras foram determinados a partir dos procedimentos e cálculo (Equação 4.1) especificados no item 4.3.4. Na Tabela 5.7 é apresentado o teor de umidade global de cada amostra, enquanto na Tabela 5.8 o teor de umidade de cada fração encontrada nos RSU.

Tabela 5.7: Teor de umidade global.

<i>Amostra</i>	<i>Umidade (%) - base úmida</i>
04	23%
06	33%
07	23%
09	57%

Tabela 5.8: Teor de umidade das frações encontradas nas amostras de RSU.

<i>Frações</i>	<i>Umidade (%) – Base Úmida</i>			
	<i>Amostra 04</i>	<i>Amostra 06</i>	<i>Amostra 07</i>	<i>Amostra 09</i>
Couro	6,25	---	---	---
Metais	---	0,00	0,00	---
Papel/Papelão	17,24	41,67	40,00	37,50
Espuma	13,34	---	50,00	---
Isopor	7,14	---	0,00	12,00
Fralda	61,90	---	---	---
Trapo	21,43	25,00	---	70,00
Matéria Orgânica	59,52	61,29	---	90,63
Vidro	3,64	---	---	---
Plástico Duro	11,25	20,00	7,14	50,00
Plástico Fino	20,00	38,46	14,29	33,33
Capim	---	---	---	75,00
Fibras	---	---	---	60,00
Coco	---	---	---	90,91
Outros	34,61	45,00	50,00	---
Madeira	---	---	---	50,00

Na Tabela 5.7 é possível visualizar que as amostras 4 e 7, classe A e classe B, respectivamente, apresentam os menores teores de umidade global, enquanto que a amostra 6, classe C, contém o maior teor de umidade comparado aos teores de umidade dos RSU de Nova Iguaçu. A amostra 9, proveniente do município do Rio de Janeiro, foi a que apresentou maior percentual de umidade, com cerca de 57%. Esse elevado

percentual pode ser explicado pela grande participação de frações orgânicas nos RSU do município do Rio de Janeiro.

No decorrer dos dias de ensaios no aterro sanitário da CTR-NI, pôde-se perceber que as carretas provenientes da estação de transferência do Caju/Rio de Janeiro, trouxeram principalmente materiais orgânicos. Devido a este motivo, o teor de umidade dos RSU do município do Rio de Janeiro foi mais alto que o do município de Nova Iguaçu.

Nas Figuras 5.9 a 5.12 são apresentados os teores de umidade por fração para cada amostra analisada de resíduos sólidos urbanos.

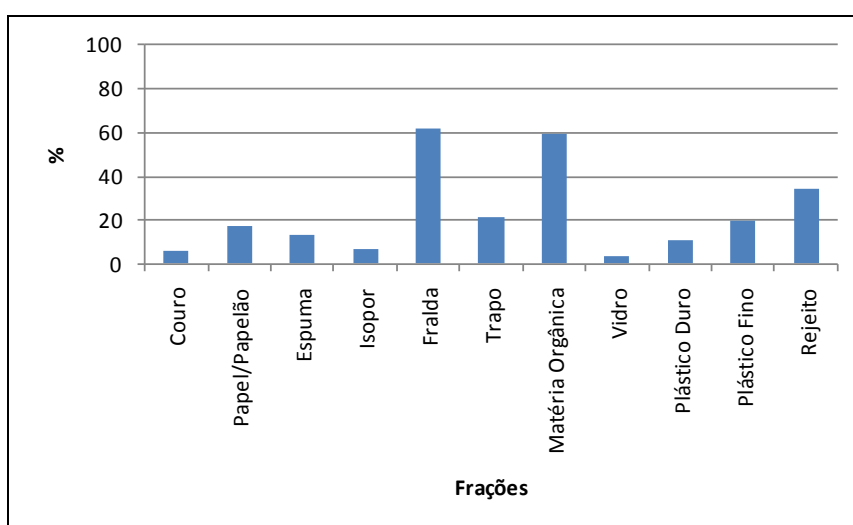


Figura 5.9: Teor de umidade obtido na Amostra 04.

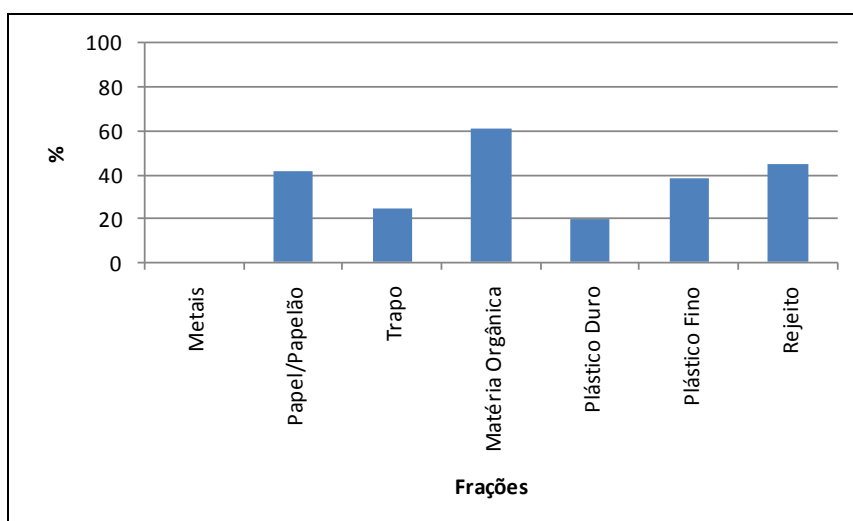


Figura 5.10: Teor de umidade obtido na Amostra 06.

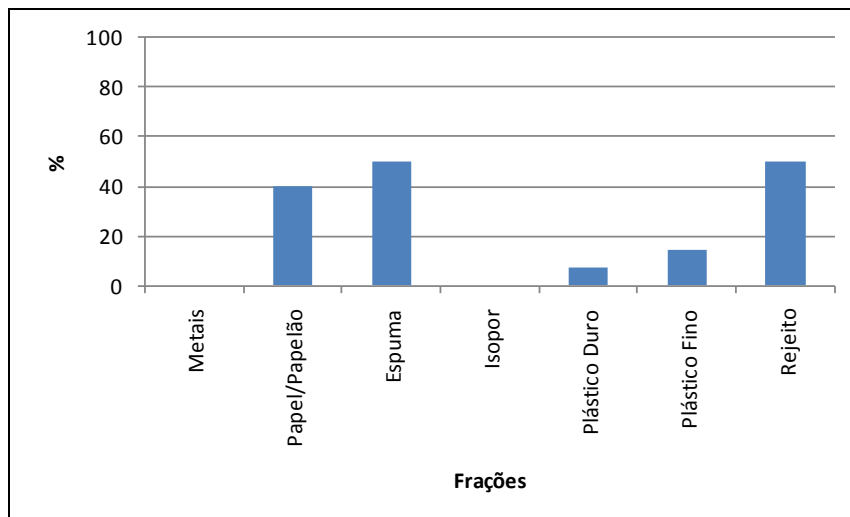


Figura 5.11: Teor de umidade obtido na Amostra 07.

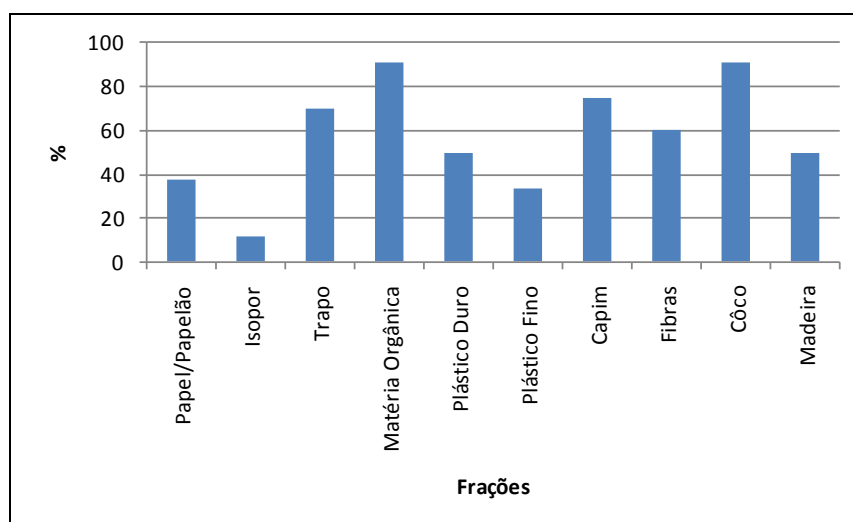


Figura 5.12: Teor de umidade obtido na Amostra 09.

O teor de umidade da fração matéria orgânica é bem semelhante entre as amostras 4 e 6 (Figura 5.9 e 5.10, respectivamente), com cerca de 60%. A umidade da fração rejeito das amostras 4, 6 e 7 variou entre 34% e 50%.

Como ilustrado nas Figuras 5.10 e 5.11, o teor de umidade da fração metais é zero. Este resultado é comum, devido à baixa retenção de água por este tipo de material. A fração isopor também apresenta resultados de teor de umidade baixos, com menos de 12%.

As Figuras 5.9, 5.10 e 5.11 ilustram que o teor de umidade da fração plástico macio é superior a fração plástico duro. Comumente, a fração plástico macio contém um percentual de umidade maior que a do plástico duro, devido à superfície de contato do plástico macio ser mais propícia ao acúmulo de água.

5.1.3.3. Distribuição dos Grupos de Materiais

A distribuição segundo os grupos de materiais dos RSU, norma DGGT (1994), foi realizada a partir dos procedimentos especificados no item 4.3.5. Os grupos de materiais foram expressos em percentuais relativos a seu peso seco frente ao peso total seco da amostra. Na Tabela 5.9 e na Figura 5.13 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 5.9: Grupos de materiais dos RSU, segundo norma DGGT (1994).

Amostra	Grupos de Materiais (%)						
	Papel/ Papelão	Plástico Macio	Plástico Duro	Metal	Orgânico	Madeira	Mineral
Amostra 04	14,70	19,58	22,81	0,00	21,93	8,65	12,34
Amostra 06	23,86	25,45	8,33	5,37	36,98	0,00	0,00
Amostra 07	26,83	8,63	30,45	8,05	26,04	0,00	0,00
Amostra 09	17,43	18,61	6,97	0,00	43,03	13,95	0,00
Média	20,71	18,07	17,14	3,36	31,99	5,65	3,09
D. Padrão	4,58	6,04	9,88	3,49	8,42	5,95	5,34

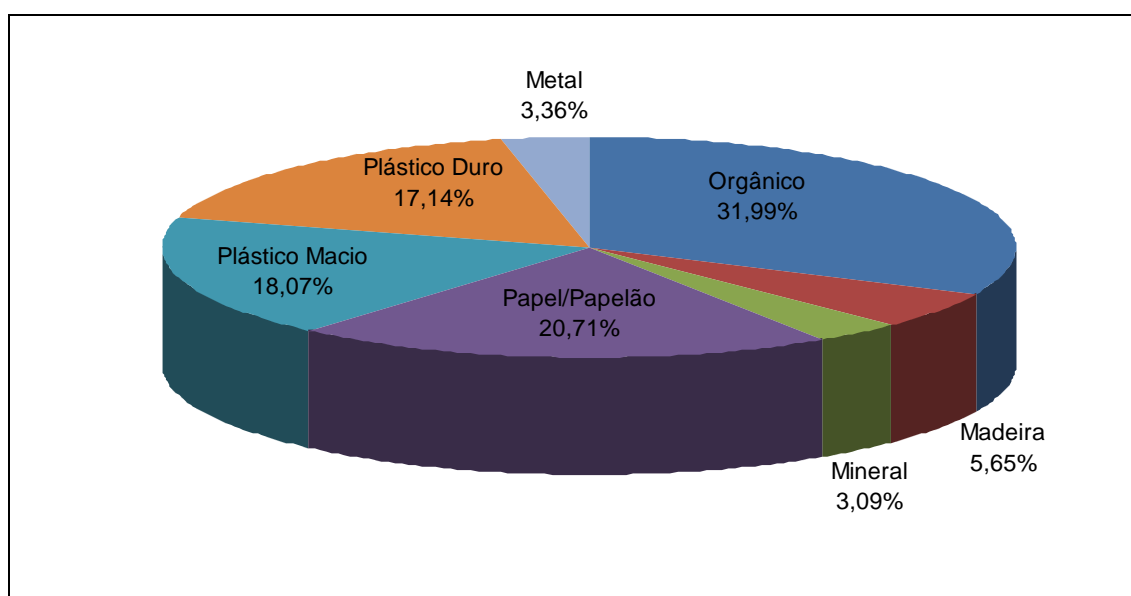


Figura 5.13: Gráfico das médias dos grupos de materiais dos RSU, segundo a norma DGGT (1994).

Na Figura 5.13 é ilustrado o resultado da média dos grupos de materiais dos resíduos sólidos urbanos. Os grupos de materiais mais expressivos são: o orgânico com 32%, composto por materiais de origem natural, orgânica; papel/papelão com 21%; plástico macio com 18% e; plástico duro com 17%.

5.1.3.4. Caracterização Morfológica dos Grupos de Materiais dos RSU

A classificação morfológica dos grupos de materiais dos RSU foi realizada a partir dos procedimentos especificados no item 4.3.6. Nesta classificação, as amostras de RSU são rotuladas segundo especificações da norma alemã DGGT (1994) englobando duas etapas, sendo a primeira quanto à dimensão e a segunda quanto ao tamanho da peça.

A. Dimensão

Cada dimensão foi representada em percentual do seu peso seco em relação ao peso seco total da amostra. Na Figura 5.14, é ilustrado a classificação morfológica do grupo de material plástico duro dos RSU. Neste grupo, o percentual da dimensão 3, 68% do total, é composto principalmente por garrafas PET, copos plásticos e embalagens plásticas diversas. A dimensão 2 é composta basicamente por fragmentos planos de plásticos duros.

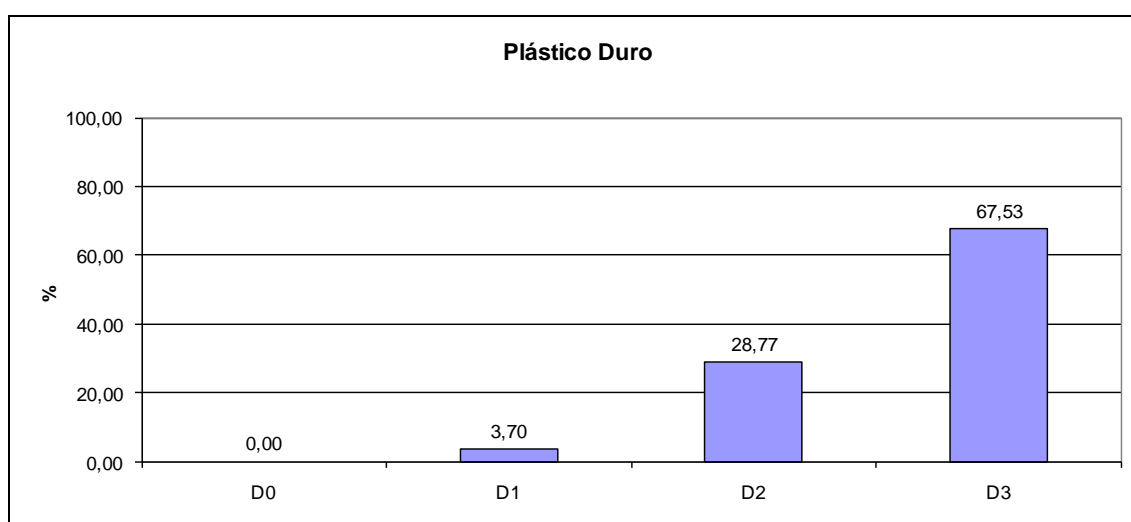


Figura 5.14: Classificação morfológica do grupo de material – Plástico Duro.

No grupo plástico macio, o alto percentual da dimensão 2 (84,46 %) é explicado pelos materiais que o compõem como sacos plásticos e embalagens plásticas, que apresentam morfologia plana (Figura 5.15). A dimensão 1, com 12,20 %, é composta principalmente por materiais têxteis diversos.

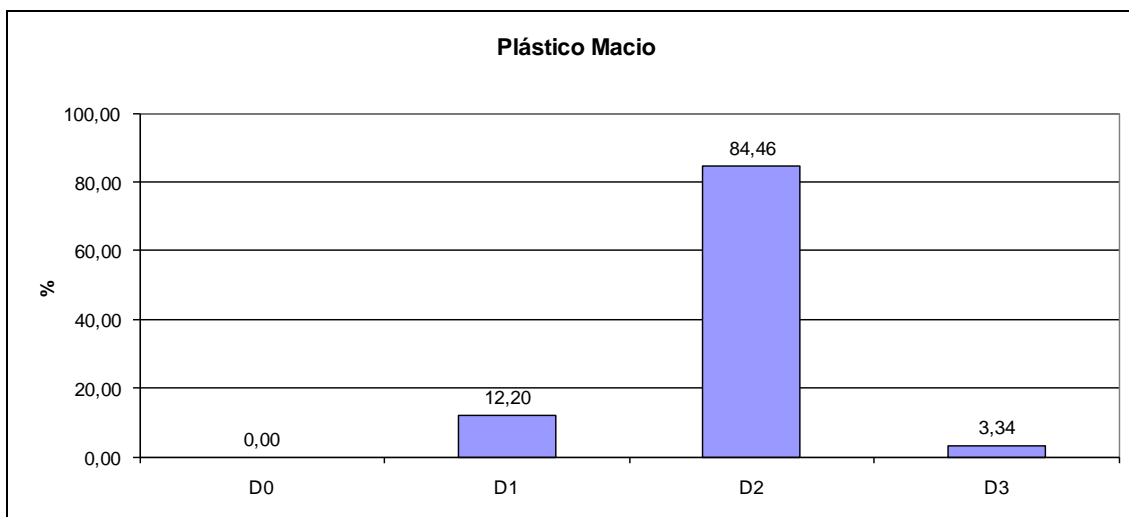


Figura 5.15: Classificação morfológica do grupo de material – Plástico Macio.

O grupo orgânico, apresentado na Figura 5.16, é formado por restos de alimentos e orgânicos em geral. A dimensão mais expressiva é a dimensão 2, com 47,35 %, composta por fragmentos planos de folhas e cascas de alimentos. A dimensão 0 também possui um percentual representativo com 21,77 %, esta contém pequenos fragmentos de restos de alimentos. Já a dimensão 3 é representada por materiais volumosos como cocos, laranjas, entre outros.

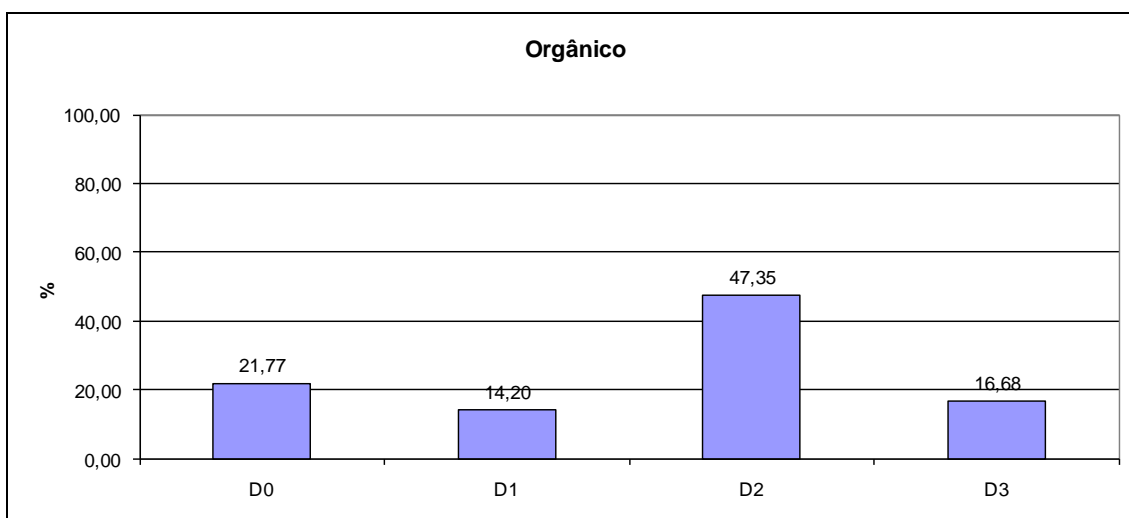


Figura 5.16: Classificação morfológica do grupo de material – Orgânico.

O percentual de 86,42% na dimensão 2 no grupo papel/papelão (Figura 5.17) é composto por folhas de papel, papelões, jornais e caixas de embalagens amassadas do tipo Tetra Pak. A dimensão 3 é composta por caixas de papelão e embalagens. Um ponto importante a ser observado é que os materiais deste grupo de material que formam a dimensão 3 podem, dentro do corpo de um aterro, virem a se comportar como dimensão 2 devido ao amassamento que estes sofrerão com a sobrecarga e com a compactação.

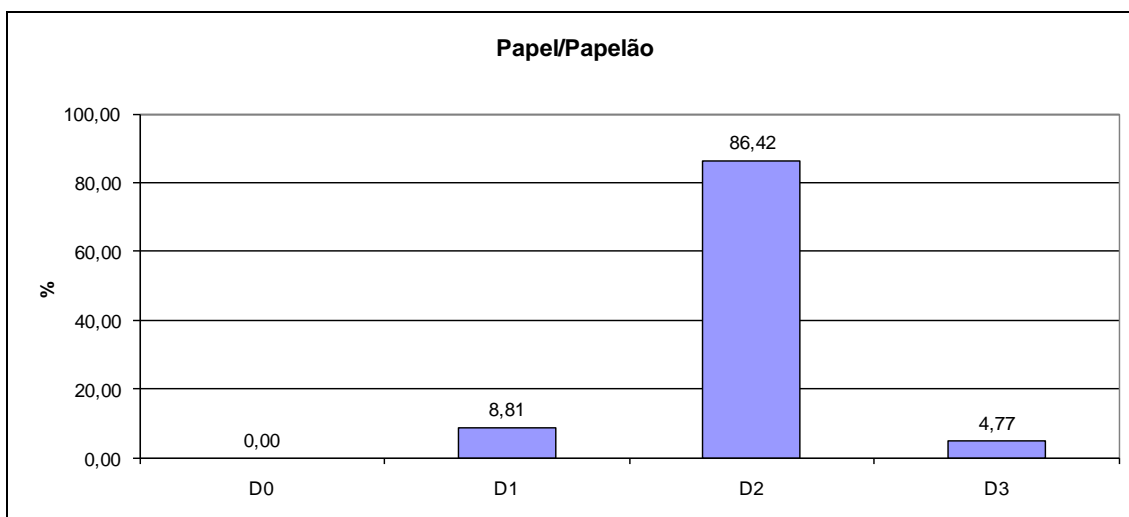


Figura 5.17: Classificação morfológica do grupo de material – Papel/Papelão.

O grupo metais (Figura 5.18) se assemelha, ao grupo plástico duro, devido ao alto percentual da dimensão 3. Este elevado percentual pode ser explicado pelos volumes metálicos com latas de conservas, bebidas e inseticidas.

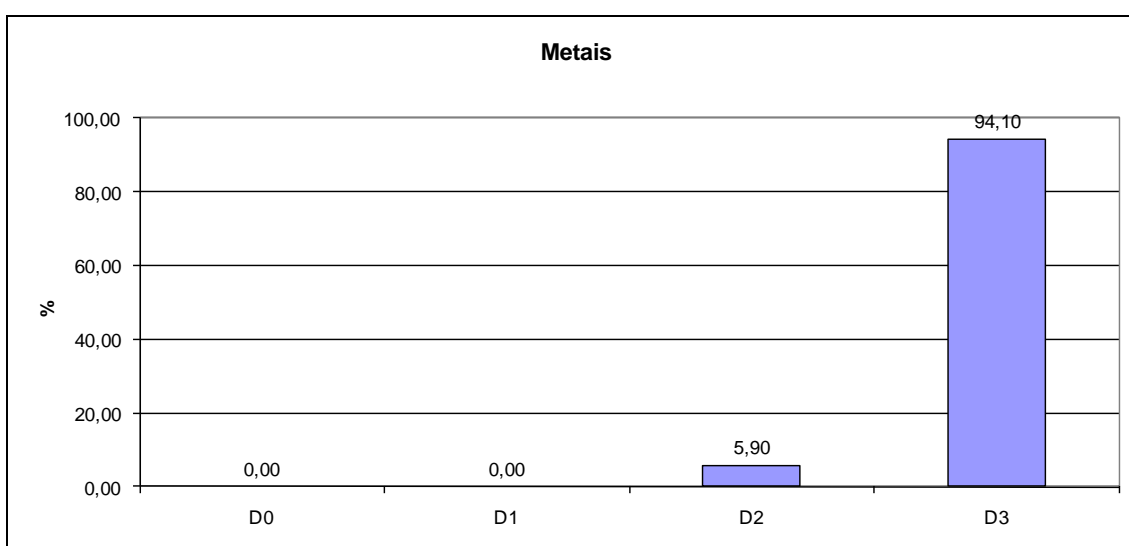


Figura 5.18: Classificação morfológica do grupo de material – Metais.

O pequeno grupo das madeiras (Figura 5.19) é composto por diversos materiais de madeira como laminados (dimensão 2) e pedaços de madeira, provavelmente de caixas ou de restos de obras (dimensão 1).

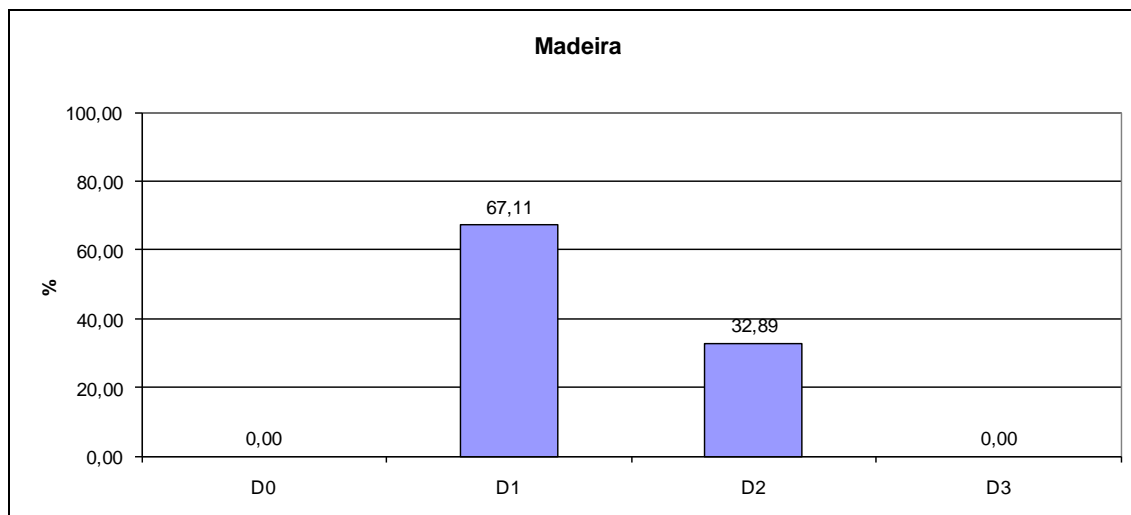


Figura 5.19: Classificação morfológica do grupo de material – Madeira.

O grupo dos minerais (Figura: 5.20), apresenta materiais com dimensão 0, como pequenos pedaços de cerâmicas e de vidros. O alto percentual da dimensão 3 é representado por recipientes de vidros em sua maioria.

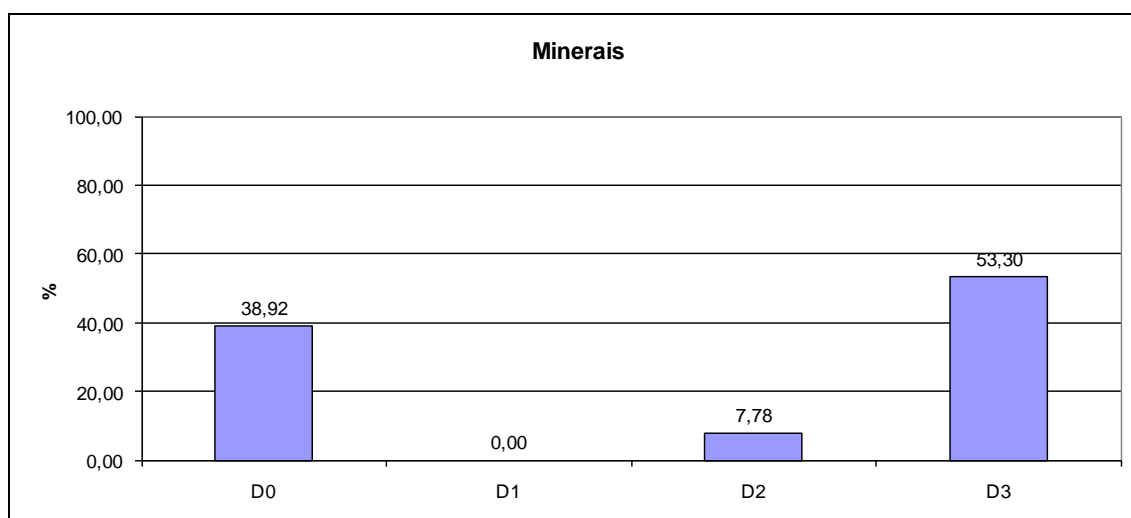


Figura 5.20: Classificação morfológica do grupo de material– Minerais.

Na Tabela 5.10 e na Figura 5.21 são demonstrados os resultados da classificação morfológica dos RSU obtidos pela ponderação dos percentuais de cada grupo de material com os percentuais da morfologia.

Tabela 5.10: Classificação morfológica dos RSU.

<i>Grupos de Materiais</i>	<i>Percentual (%)</i>	<i>Morfologia (%)</i>			
		<i>D0</i>	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D3</i>
Plástico Duro	9,58	0,00	3,70	28,77	67,53
Plástico Macio	15,49	0,00	12,20	84,46	3,34
Orgânico	53,56	21,77	14,20	47,35	16,68
Papel/Papelão	16,71	0,00	8,81	86,42	4,77
Metais	2,37	0,00	0,00	5,90	94,10
Madeira	1,60	0,00	67,11	32,89	0,00
Minerais	0,70	38,92	0,00	7,78	53,30
Total	100,00	7,99	12,24	56,87	22,90

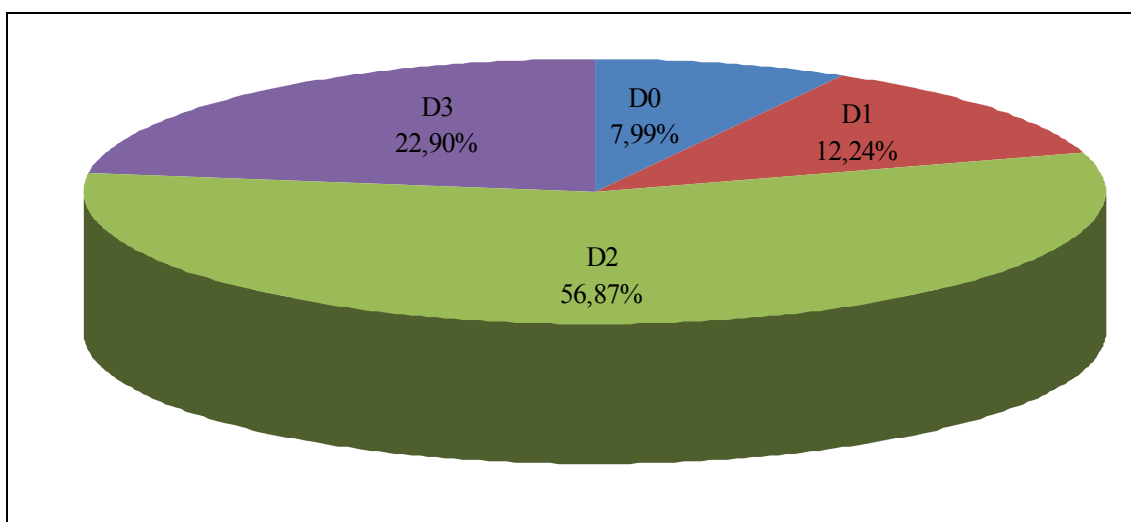


Figura 5.21: Classificação morfológica dos RSU.

B. Tamanho das frações

Para frações maiores que 40 mm é realizada uma separação visual por faixas de tamanhos de 40 mm a 120 mm, de 120 mm a 500mm e de 500 mm a 1000 mm. Após esse procedimento os resíduos sólidos urbanos passam pela peneira de abertura de 40 mm. A fração passante é encaminhada para as peneiras granulométricas encerrando o procedimento. A fração referente a cada processo de peneiramento dos grupos de materiais está indicada na Tabela 5.11. O percentual total de cada grupo de material foi encontrado por meio do percentual de cada tamanho pelo percentual de cada grupo de material presente nas amostras de RSU.

Tabela 5.11: Tamanho das frações dos RSU (%).

<i>Grupos de Materiais</i>	<i>Análise Visual</i>					<i>Peneiras</i>					
	<i>1m – 0,5 m</i>	<i>50 cm – 12 cm</i>	<i>12 cm – 4 cm</i>	<i>40 mm</i>	<i>8 mm</i>	<i>1”</i>	<i>¾”</i>	<i>3/8”</i>	<i>4</i>	<i>8</i>	<i>10</i>
Plástico Macio	35,36	44,80	19,04	0,80	-	-	-	-	-	-	-
Plástico Duro	4,09	79,82	16,09	-	-	-	-	-	-	-	-
Orgânico	-	28,14	48,06	0,71	5,36	0,86	0,19	4,73	7,24	3,23	1,48
Mineral	-	51,08	17,65	0,00	3,30	5,52	7,10	2,30	5,16	2,44	5,45
Papel/Papelão	2,76	53,01	41,41	0,06	2,76	-	-	-	-	-	-
Metal	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Madeira	-	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (%)	8,71	46,29	36,62	0,39	2,26	0,37	0,21	1,41	2,20	0,98	0,55

5.1.3.5. Teor de Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis presentes na fração sólida não inerte dos resíduos sólidos urbanos representam a parcela facilmente degradável da matéria orgânica, ou seja, os primeiros resultados da atividade microbiana. Assim, o controle dos sólidos voláteis serve como monitoramento indireto da atividade microbiana, contribuindo para estimativas da degradação dos materiais orgânicos.

Os teores de sólidos voláteis das amostras 4, 6 e 7 foram determinados a partir dos procedimentos e cálculo (Equação 4.2) especificados no item 4.3.7. Na Figura 5.22 são ilustrados os resultados encontrados dos teores de sólidos voláteis.

Não foi possível realizar o ensaio com a amostra 9, proveniente do Rio de Janeiro, devido ao material não possuir a fração outros, e as frações não inertes após o período de secagem ficaram extremamente rígidas, não sendo possível a preparação da amostra segundo o item 4.3.7.

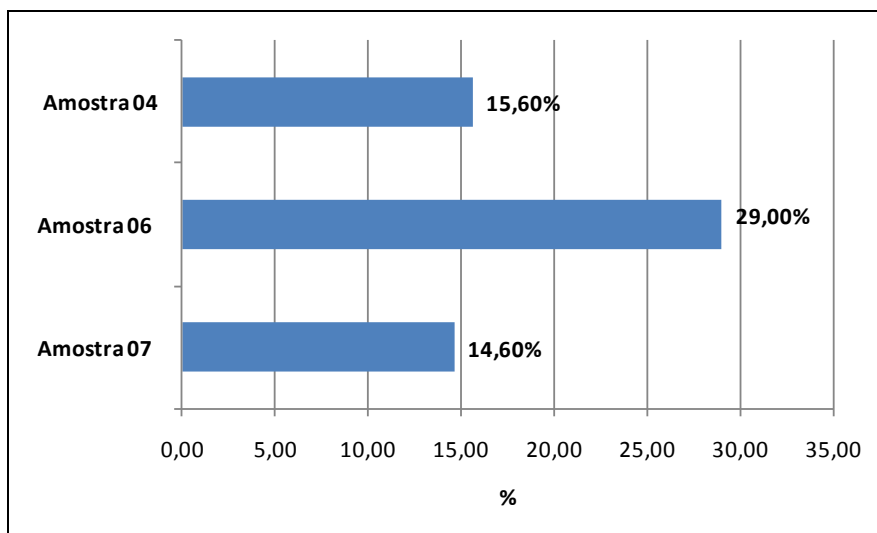


Figura 5.22: Resultados do teor de sólidos voláteis dos RSU de Nova Iguaçu.

5.1.3.6. Poder Calorífico

Os resultados de poder calorífico foram determinados a partir dos procedimentos especificados no item 4.3.8. Os ensaios foram realizados em triplicatas para cada amostra (04, 06, 07, 09), seguindo a norma alemã, DIN CEN/TS 15.400 (2006), para a determinação do poder calorífico. Na Tabela 5.12 e na Figura 5.23 são apresentados os resultados encontrados de poder calorífico.

Tabela 5.12: Resultados de poder calorífico das amostras homogeneizadas.

<i>Amostras</i>	<i>Classe Social</i>	<i>Poder Calorífico (kcal/kg)</i>	<i>Valor Médio do Poder Calorífico (kcal/kg)</i>	<i>Desvio Padrão</i>
04	A	4.132,00	4.136,00	115,98
		4.280,00		
		3.996,00		
		3.339,00		
06	C	3.120,00	3.337,67	177,18
		3.554,00		
		4.460,00		
		4.480,00		
07	B	4.480,00	4.526,67	80,55
		4.640,00		
		3.026,00		
		2.950,00		
09	-	2.950,00	3.030,34	67,43
		3.115,00		

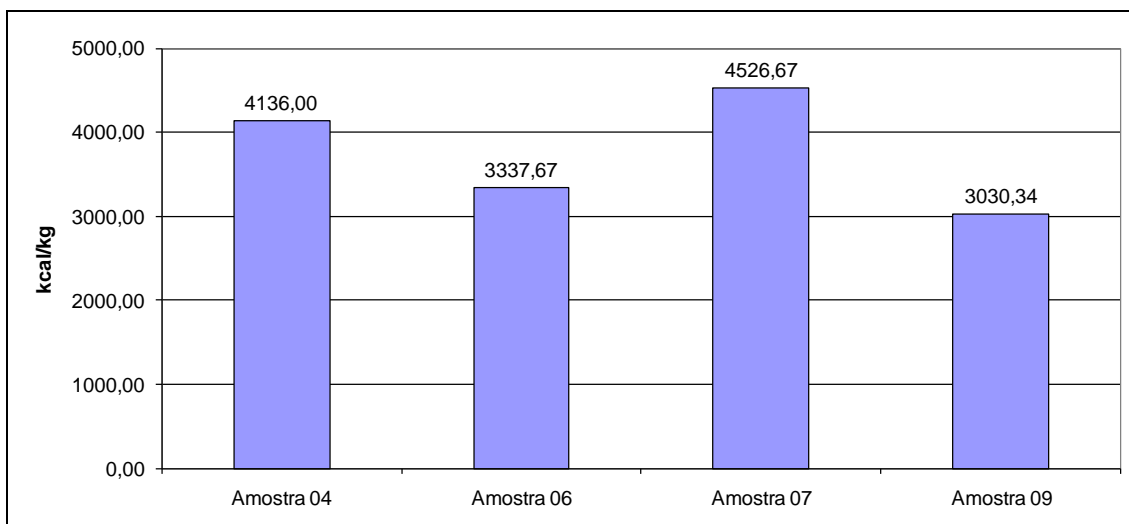


Figura 5.23: Valores médios de poder calorífico das amostras homogeneizadas.

Na Figura 5.23 pode ser observado que a amostra 7, classe B, apresentou maior valor de poder calorífico, 4.526,67 kcal/kg, com relação as demais amostras. Este resultado pode ser explicado devido à baixa quantidade de materiais orgânicos, e da maior participação das frações papel/papelão, plástico duro, trapos, isopor e madeira, que contribuem para o aumento do poder calorífico. A amostra 4, classe A, não apresentou o maior valor de poder calorífico devido esta amostra conter um maior percentual de materiais orgânicos, e quantidades inferiores de plásticos, papéis e isopores. A amostra 06, classe C, e a amostra 9, apresentaram valores próximos, 3.337,67 kcal/kg e 3.030,34 kcal/kg, respectivamente. Estas amostras continham grandes quantidades de materiais orgânicos e baixas quantidades de materiais combustíveis, composição típica da população de classe baixa.

Nas amostras 6 e 9, o poder calorífico (P.C.) dos RSU foram analisados pela empresa Analytical Solutions em todas as frações encontradas na caracterização gravimétrica. Nas Tabelas 5.13 e 5.14 são apresentados os resultados obtidos de poder calorífico em cada fração dos RSU.

Tabela 5.13: Poder calorífico por frações da amostra 06 - Nova Iguaçu/Classe C.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>		
		<i>Kg</i>	<i>%</i>	<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
Metais	0,00	3,60	4,00	0,00
Matéria Orgânica	2294,00	30,50	33,94	778,58
Papel/Papelão	3814,00	22,10	24,58	937,48
Plástico Macio	2727,00	13,30	14,79	403,32
Plástico Duro	5360,00	12,00	13,35	715,56
Trapos	1850,00	1,80	2,00	37,00
Rejeito	3098,00	6,60	7,34	227,39
Total		89,90	100,00	3.099,34

Tabela 5.14: Poder calorífico por frações da amostra 09 – Rio de Janeiro.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>		
		<i>Kg</i>	<i>%</i>	<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
Isopor	8967,00	0,60	0,60	53,80
Madeira	2053,00	6,40	6,39	131,19
Matéria Orgânica	0,00	34,80	34,73	0,00
Papel/Papelão	2017,00	5,30	5,29	106,70
Plástico Macio	3967,00	4,80	4,79	190,02
Plástico Duro	5417,00	5,10	5,08	275,18
Trapos	1612,00	2,40	2,40	38,69
Coco	371,00	8,40	8,38	31,09
Capim	1113,00	16,00	15,97	177,75
Fibras	884,00	16,40	16,37	144,71
Total		100,20	100,00	1.149,13

Para as amostras 4 e 7, foram utilizados dados de SCHUELER *et al.* (2009) para a determinação de um valor de poder calorífico por frações. Nas Tabelas 5.15 e 5.16 são apresentados os resultados para cada fração dos resíduos sólidos urbanos.

Tabela 5.15: Valores estimados de poder calorífico por frações – Amostra 4.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>		
		<i>Kg</i>	<i>%</i>	<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
Vidro	48,00	2,90	2,80	1,34
Couro	4467,00	3,28	3,17	141,60
Isopor	9170,00	1,97	1,90	174,23
Matéria Orgânica	1300,00	38,90	37,58	488,54
Papel/Papelão	3780,00	12,81	12,38	467,96
Plástico Macio	7830,00	6,98	6,74	527,74
Plástico Duro	7830,00	7,90	7,63	597,43
Trapos	4170,00	5,43	5,25	218,93
Fraldas	5384,00	3,68	3,56	191,67
Rejeito*	2075,00	14,16	13,68	283,86
Espuma	341,00	5,49	5,31	18,11
Total		100,90	100,00	3111,41

* Valor medido pela Empresa Analytical Solutions.

Tabela 5.16: Valores estimados de poder calorífico por frações – Amostra 7.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>		
		<i>Kg</i>	<i>%</i>	<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
Metais	0,00	4,30	5,47	0,00
Isopor	9170,00	0,90	1,15	105,46
Papel/Papelão	3780,00	16,50	21,02	794,56
Plástico Macio	7830,00	6,30	8,03	628,75
Plástico Duro	7830,00	9,60	12,23	957,61
Espuma	341,00	4,60	5,86	19,98
Rejeito*	2075,00	36,30	46,24	959,48
Total		78,50	100,00	3465,83

* Valor medido pela Empresa Analytical Solutions.

Na Figura 5.24 são ilustrados os resultados obtidos de poder calorífico das amostras com todas as frações juntas homogeneizadas, das frações obtidas nas caracterizações gravimétricas e a média entre estas. O poder calorífico das amostras 04 e 07 não foram determinados por frações. Devido a isto, o valor obtido no ensaio com todas as frações homogeneizadas será o utilizado para as demais análises.

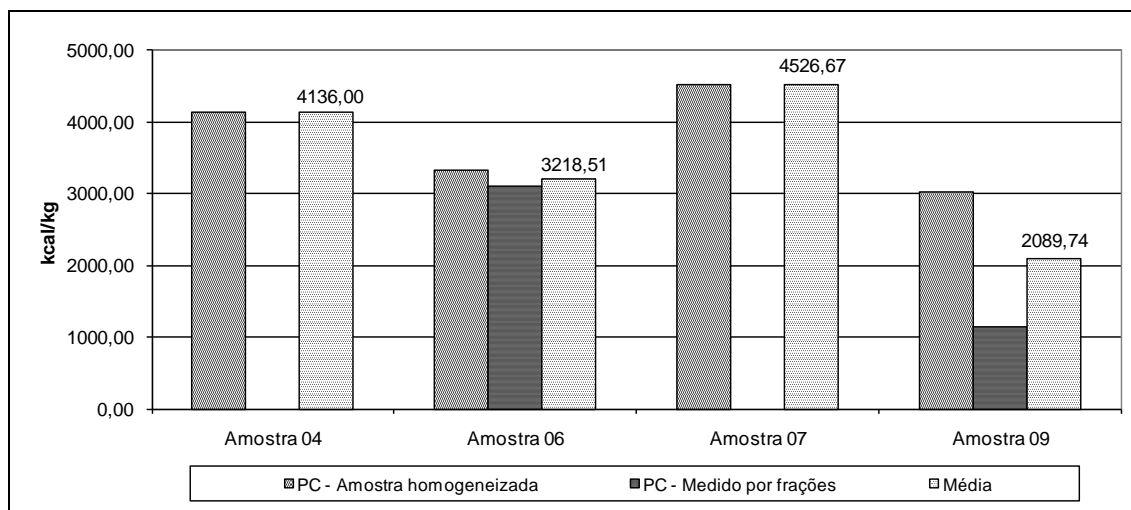


Figura 5.24: Poder calorífico das amostras homogeneizadas e das frações dos RSU.

Na Tabela 5.17 são apresentados os valores médios mensais dos RSU dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, que entraram na CTR-NI em 2009 (ano base), e os valores médios de poder calorífico para cada amostra.

Tabela 5.17: Valores médios mensais de RSU de NI e RJ e resultados de poder calorífico.

<i>Amostra</i>	<i>Classe Social/Local</i>	<i>Total (kg/mês)</i>	<i>kcal/kg</i>
04	A/Nova Iguaçu	1.380.000,00	4.136,00
06	C/Nova Iguaçu	15.870.000,00	3.218,51
07	B/Nova Iguaçu	5.750.000,00	4.526,67
09	Rio de Janeiro	28.000.000,00	2.089,74
Total		51.000.000,00	

É importante observar que a energia recuperada pela incineração controlada dos RSU é térmica, e a população consome energia elétrica. A conversão da energia térmica em elétrica depende do rendimento do processo utilizado, em geral, para conversões diretas há uma perda de cerca de 35%. Caso se utilize a cogeração, é possível aumentar a eficiência do processo, diminuindo as perdas. A energia térmica gerada pode ser disponibilizada para o aquecimento de indústrias, comércio, shopping centers.

Na Tabela 5.18 observam-se os resultados obtidos das estimativas de geração de energia térmica e elétrica a partir da incineração controlada dos resíduos sólidos urbanos provenientes dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro. Também consta nesta tabela o número de residências que podem ser abastecidas através da energia elétrica gerada.

Em média, uma residência com quatro pessoas consome 180,00 kWh/mês (LIGHT, 2009), sendo assim com a recuperação energética estimada de 106.835,23 MWh é possível abastecer cerca de 594.000 residências com energia elétrica.

Tabela 5.18: Estimativas de geração de energia térmica e elétrica.

<i>Amostras</i>	<i>Energia Térmica (MWh)</i>	<i>Energia Elétrica (MWh)</i>	<i>Residências</i>
04	6.637,99	4.314,69	23.971
06	59.403,10	38.612,02	214.511
07	30.270,81	19.676,03	109.311
09	68.049,92	44.232,49	245.736
Total	164.361,82	106.835,23	593.529

Na Tabela 5.19 e na Figura 5.25 são apresentadas as estimativas de geração de energia elétrica que estão correlacionadas às percentagens de reciclagem. Foram escolhidas para a construção desta estimativa as percentagens de 0, 10, 25, 50, 75 e 100. Isto é, quando não há reciclagem (0 %), quando não há mais material reciclável presente nos resíduos sólidos urbanos (100 %), e em situações intermediárias de eficiência de reciclagem (10, 25, 50 e 75 %). As tabelas com os cálculos para cada percentagem definida estão no Apêndice 3. Os materiais presentes nas amostras 4, 6, 7 e 9 passíveis de reciclagem, foram: vidro, metal, isopor, papel/papelão, plástico duro e macio, madeira e couro.

Tabela 5.19: Estimativa de geração de energia elétrica com a reciclagem dos RSU.

<i>Reciclagem</i>	<i>Energia Elétrica (MWh)</i>
0 %	106.835,23
10 %	106.471,63
25 %	101.950,80
50 %	93.537,61
75 %	81.919,72
100 %	67.017,85

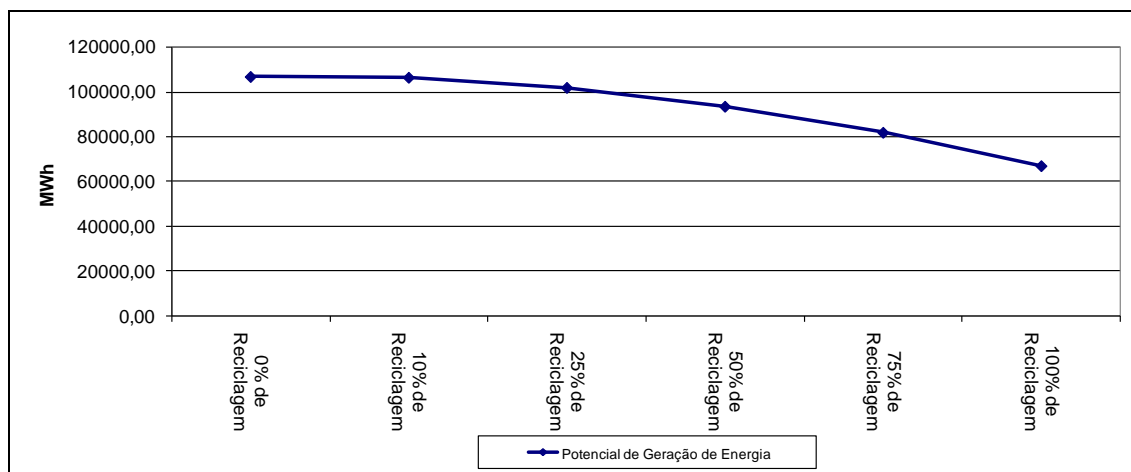


Figura 5.25: Condições crescentes de reciclagem associada a geração de energia elétrica.

Na Figura 5.25 pode ser observado que há uma queda na geração de energia elétrica, conforme o percentual de reciclagem vai aumentando. A queda na geração de energia do estado atual, 0% de reciclagem, para a condição de reciclagem com 100%, foi de cerca de 63%. Na condição atual, sem reciclagem (0%), ocorre a produção máxima de geração de energia, já que frações altamente combustíveis estão presentes na massa dos resíduos sólidos urbanos. Esta condição é a ideal do ponto de vista da geração de energia elétrica.

Segundo a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na gestão e gerenciamento de tais resíduos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e a disposição final ambientalmente adequada. Segundo os princípios da PNRS, a condição ideal para o meio ambiente, é o que teremos 100% de reciclagem dos materiais presentes nos RSU, associado à tecnologia de incineração controlada.

Estudos de análise do ciclo de vida do produto associado a modelagens demonstram que nem sempre o ideal é reciclar 100%, já que muitas variáveis definem qual o cenário ideal para cada região, de acordo com sua matriz e especificidades. Por exemplo, em cenário de escassez de energia, de água, aspectos de difícil logística das rotas de coleta, além das emissões causadas pelo transporte dos materiais recicláveis, a reciclagem pode não ser a melhor forma de tratamento dos resíduos.

Na Figura 5.26 são ilustrados os números de residências que podem ser abastecidos com energia elétrica a partir dos RSU. A condição de reciclagem, com 100%, abasteceria cerca de 372.000 residências.

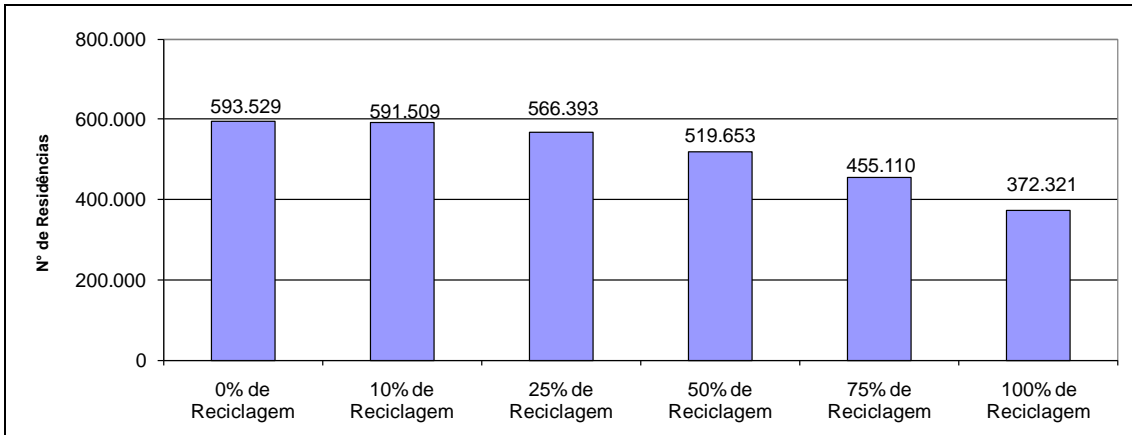


Figura 5.26: Estimativa do número de residências que podem ser abastecidas com condições crescentes de reciclagem.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

6.1. Considerações Finais

- A caracterização gravimétrica para os resíduos sólidos urbanos dos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, indicou valores de materiais orgânicos semelhantes aos índices habituais brasileiros, com cerca de 56% e 50%, respectivamente.
- Com a distribuição da caracterização gravimétrica do município de Nova Iguaçu por classes sociais foi possível observar que as classes A e B, apresentaram percentuais expressivos de materiais industrializados, como fraldas, garrafas de vidros, embalagens de isopor e plásticas e trapos. O percentual da fração matéria orgânica na amostra 4 (classe A) se assemelha ao da amostra 6 (classe C), com cerca de 45% do total. Este elevado teor de materiais orgânicos é atípico para a classe A, pois comumente a alimentação desta população é baseada em alimentos industrializados. Esse resultado pode ser explicado pela variabilidade da coleta dos resíduos, acarretando em mudanças na composição típica dos resíduos sólidos urbanos.
- Os resultados obtidos na caracterização gravimétrica dos RSU do município do Rio de Janeiro apresentaram divergências com os percentuais das frações obtidas nos ensaios realizados pela COMLURB (2009), nas áreas de planejamento 1 e 4 da cidade do Rio de Janeiro. Esta questão pode ser explicada pela variabilidade dos resíduos, e por apenas cerca de 15% dos resíduos sólidos urbanos gerados na cidade do Rio de Janeiro serem dispostos no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu.
- Os resultados encontrados nos ensaios para a determinação dos teores de umidade global e por frações estão de acordo com a literatura, sendo que materiais como fraldas, papéis/papelões, trapos e matéria orgânica são os responsáveis pelos altos valores iniciais da umidade dos resíduos sólidos urbanos.
- Na determinação do teor de umidade das amostras dos resíduos sólidos urbanos, a que apresentou maior umidade foi a amostra 09 (Rio de Janeiro), com 56,94%.
- Segundo a caracterização morfológica por dimensão, os RSU apresentaram altos percentuais da dimensão 02, ou seja, materiais planos. Os grupos de materiais que mais

influenciaram neste percentual foram o papel/papelão (folhas de papel, papelões, jornais, etc.) e os plásticos macios (embalagens, têxteis, etc.).

- Na classificação morfológica dos RSU, os dois principais grupos de materiais que compõem os materiais volumosos (D3) dos RSU são o plástico duro (garrafas, embalagens, etc.) e o metal (latas de conserva, de bebidas e inseticidas).
- Nos peneiramentos realizados para determinação do tamanho das peças dos materiais componentes dos RSU, foram encontrados, em aproximadamente, 92% dos casos, tamanhos acima de 40,00 mm, o que é favorável ao efeito de reforço das fibras.
- Os sólidos voláteis presentes na fração sólida não inerte dos resíduos sólidos urbanos representam a parcela facilmente degradável da matéria orgânica, ou seja, os primeiros resultados da atividade microbiana. A amostra 6, proveniente de Nova Iguaçu – classe C, foi a que apresentou o maior percentual de sólidos voláteis em sua composição, com 29%.
- Apesar da execução de uma nova metodologia de classificação dos resíduos aplicada aos aspectos de interesse da mecânica dos resíduos, os chamados grupos de materiais, segundo norma alemã DGGT (1994), são similares aos materiais presentes na classificação dos resíduos segundo metodologia do IPT/CEMPRE (2000), sendo evidenciado pela concordância em percentuais quando comparados.

6.2. Conclusões

- A amostra 7 (Nova Iguaçu / classe B) foi a que apresentou maior poder calorífico, com 4.526,67 kcal/kg, este resultado pode ser explicado devido à baixa quantidade de materiais orgânicos, e da maior participação das frações papel/papelão, plástico duro, trapos, isopor e madeira, que contribuem para seu aumento. Já o resultado do poder calorífico da amostra 9 (Rio de Janeiro) foi o que apresentou menor poder calorífico, com 2.089,74 kcal/kg, este baixo valor pode ser explicado pela grande quantidade de materiais orgânicos em sua composição.
- Diante dos resultados obtidos de poder calorífico, pôde-se perceber que a produção de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos que chegaram ao aterro sanitário da CTR-NI não está diretamente relacionada com a classe social, como pode ser observado nos resultados da amostra 4 (classe A) de Nova Iguaçu, que não apresentou o maior

poder calorífico, com 4.136,00 kcal/kg, em torno de 10% menor do que o observado na classe B.

- Na condição atual, sem reciclagem, a recuperação energética estimada foi de 106.835,23 MWh, através da utilização da tecnologia de incineração controlada dos resíduos sólidos urbanos. Com esta energia elétrica estimada é possível abastecer cerca de 594.000 residências com quatro habitantes. Já na condição de reciclagem com 100%, seria possível abastecer cerca de 372.000 residências com 67.017,85 MWh.
- A partir dos resultados das estimativas de geração de energia, é possível concluir que os resíduos sólidos urbanos podem contribuir para uma geração de energia significativa dentro da matriz energética nacional.

6.3. Sugestões para Futuras Pesquisas

- Avaliar a percepção ambiental da população em relação aos RSU para aprofundar os estudos da influência dos fatores sócio-econômicos na geração de resíduos, identificando a relação dos hábitos de consumo e conscientização ambiental no descarte e encaminhamento para a reciclagem;
- Realização de um maior número de ensaios de caracterização gravimétrica dos RSU, por rotas;
- Analisar amostras obtidas em diferentes estações do ano, já que, a composição dos resíduos é afetada pelos hábitos da população.
- Determinar gastos economizados de energia com a prática da reciclagem dos resíduos;
- Verificar a influência do teor de umidade dos resíduos sólidos urbanos na incineração controlada;
- Analisar os compostos químicos presentes nos resíduos sólidos urbanos, e sua influência no processo de incineração controlada.
- Determinar o balanço energético de diferentes cenários de reciclagem nos municípios de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004. Resíduos Sólidos: Classificação – NBR 10.004/2004.

_____, 2004. Procedimento para a Obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos – NBR 10.005/2004.

_____, 2004. Procedimento para a Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos – NBR 10.006/2004.

_____, 2004. Amostragem de Resíduos Sólidos – NBR 10.007/2004.

_____, 1997. Aterro de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação – NBR 13.896/1997.

_____, 1984. Solo: Análise Granulométrica – NBR 7.181/1984.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1987. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter – ASTM D240/87.

BRASIL, 2001. Lei n° 3.273, de 06 de setembro de 2001, *que dispõe sobre a Gestão dos Serviços de Limpeza Urbana e dá outras providências*. Rio de Janeiro: 2001. Disponível em: <http://comlurb.rio.rj.gov.br/decreto_21305.htm>. Acesso em: 26 de Maio de 2010.

BRASIL, 2010. Lei n° 12.305, de 02 de Agosto de 2010, *que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Brasil: 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 30 de Setembro de 2010.

- BORGATTO, A. V. A., 2006, *Estudo do Efeito Fibra e da Morfologia na Estabilidade de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BORTOLAZZO, W. M., 2010, *Estimativa da produção de percolados no aterro sanitário de Nova Iguaçu com a aplicação de modelos computacionais*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CASTRO, M. C. A. A., 1996, *Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na transformação da matéria orgânica em composto*. Dissertação de M.Sc., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.
- CHENG, H., HU, Y., 2010, “Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China”, **Bioresource Technology**, 101 (Jan), pp. 3816-3824.
- CIAMPI, G. J. S., 1992, *Desenvolvimento de um calorímetro para a determinação do conteúdo energético de combustíveis sólidos*. Dissertação de M.Sc., UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.
- CIWMB - CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, 2004. **Statewide waste characterization study**. Disponível em: <<http://www.ciwmb.ca.gov/WasteChar/DBMain.htm>>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2010.
- COELHO, H., 2000. *Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde*. 1ªed. Rio de Janeiro, FIOCRUZ.
- COMLURB – COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA, 2005. *Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/comlurb>> Acesso em: 18 de Março de 2010.

COMLURB, 2008. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ.

_____, 2009. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro*. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA N°005, 1993. *Dispõe sobre a destinação final dos resíduos sólidos*. Brasília.

_____, CONAMA N°316, 2002. *Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos*. Brasília.

COUMOULOS, D. G., KORYALOS, T. P., METAXAS, I. L., GIOKA, D. A., 1995. “Geotechnical Investigation at the Main Landfill of Athens”. In: *Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula*, pp. 790-800, Cagliari, Italy, Oct.

DE LAMARE NETO, A., 2004. *Resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos e de materiais granulares*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, 1994: Empfehlungen des Arbeitskreises “Geotechnik der Deponien und Altlasten“. E 1-7: Identifizierung und Beschreibung von Abfällen (Entwurf). Bautechnik 71, Heft 9, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.

DIN CEN/TS 15.400, 2006: Solid recovered fuels – “Methods for the determination of calorific value”; German version.

- DUBEUX, C. B. S., 2007, *Mitigação de emissões de gases de efeito estufa por municípios brasileiros: metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos de planejamento*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- EDGERS, L., NOBLE, J.J.; WILLIAMS, E., 1992, “A Biologic Model for Long Term Settlement in Landfills”. In: Usmen, M. A, Acar, Y. B (eds), *Environmental Geotechnology, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology*, Turkey. A. A. Balkema, Rotterdam pp. 177-184.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [U. S.], 1998. *Health and Environmental Effects Testing for Biodiesel under the Requirements for USEPA Registration of Fuels and Fuel Additives*. Washington, DC.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007. *Plano Nacional de Energia: 2030*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 07/12/2010.
- _____, 2008. *Nota Técnica DEN 06/08 – Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS*. Rio de Janeiro, RJ.
- FARIA, F. S., 2002, *Índice da qualidade de aterros de resíduos urbano*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FERREIRA, J. A., 2000, “Resíduos Sólidos: Perspectivas Atuais”. In: Sisino, C. L. S., Oliveira, R. M. (org.), *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma Visão Multidisciplinar*, 1ª ed, capítulo 1, Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.
- FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006. *Manual de saneamento*. 3ªed. Brasília, Fundação Nacional de Saúde / Brasil.
- HAZTEC, 2010. *Comunicação pessoal*.

HENRIQUES, R. M., 2004. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 2001, *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, Rio de Janeiro, RJ.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2000. *Censo Demográfico 2000: Características da População e dos Municípios*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 03 de Março de 2010.

_____, 2002. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 08 de Fevereiro de 2010.

_____, 2008. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2010.

_____, 2010. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 de Maio de 2011.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996, “Waste”. In: *IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*, 3ed., chapter 06, United Kingdom.

_____, 2007. *Relatório do IPCC/ONU – Novos Cenários Climáticos*. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO.pdf>>. Acesso em: 02 de Fevereiro de 2011.

IPP – INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, 2004. *Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas – 2004*. Disponível em: <<http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br>>. Acesso em: 09 de Abril de 2010.

IPT/CEMPRE – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO /COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM , 2000. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2ª ed. São Paulo.

IZZO, R. L. S., 2008, *Comportamento de resíduos sólidos inertizados em barreira capilar*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

LA ROVERE, E. L., COSTA, C. V., DUBEAUX, C. B., 2006. “Aterros sanitários no Brasil e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): oportunidade de promoção de desenvolvimento sócio-ambiental”. *Simpósio Internacional de Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos*, Rio de Janeiro, Brasil, 24-27 Abril.

LANGE, L. C., COELHO, H. M. G., ALVES, D. E. W. S., et al., 2003, “Metodologias para Análises Laboratoriais de resíduos Sólidos Urbanos, Líquidos Lixiviados de Aterros Sanitários e Solos”. In: Castilhos Junior, A. B., (ed.), *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte*, 1ª ed., apêndice 1, Rio de Janeiro, BR, ABES, RIMA.

LEITE, P. R., 2003. *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. 2ª ed. São Paulo, Prentice Hall.

LI'AO, W., TING'QUAN, P., CHUAB, H., et al, 2009, “Management of municipal solid waste in the Three Gorges region”, *International Journal of Integrated Waste Management, Science & Technology*, v. 29, n. 7 (Julho), pp. 2203-2208.

LIGHT, 2009. *Relatório de Sustentabilidade: 2009*. Disponível em: <<http://relatoriolight.riweb.com.br/>>. Acesso em: 13 de maio de 2011.

LIMA, J. D., 2001. *Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil*. 1ª ed. Rio de Janeiro, ABES.

- MANASSERO, M., VAN IMPE, W. F., BOUAZZA, A., 1996. "Waste Disposal and Containment". In: *Proc. of the Second International Congress on Environmental Geotechnics*, Preprint of Special Lectures, Osaka, Japan, A. A. Balkema, v.3, pp. 1425-1474.
- MANCINI, S. D., 2001, *Estudos de hidrólise do PET pós-consumo no estado sólido visando a reciclagem química*. Tese D. SC., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.
- MARIANO, M. O. H., JUCÁ, J. F. T., 1998. "Monitoramento de Recalques no aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca". In: *XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, v. 3, pp. 1671-1678, Brasília, Nov.
- MARIANO, M. O. H., MACIEL, F. J., FUCALE, S. P., et al., 2007, "Composição Gravimétrica e Volumétrica dos RSU da Célula Piloto do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca". *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 02-07 Setembro.
- MASSUKADO, L. M., 2004, *Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares*. Dissertação de M.Sc., UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.
- MMPLS – METHANE TO MARKETS PARTNERSHIP LANDFILL SUBCOMMITTEE, 2005. **United States profile of solid waste disposal practices and landfill gas management**. Washington, D.C.; Disponível em: <<http://www.methanetomarkets.org/>> Acesso em: 15 de Janeiro de 2009.
- MUYLAERT, M.S., PEREIRA, A.S., CAMPOS, C.P., et al., 2000, *Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta*. 1ª ed. IVIG/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- NASCIMENTO, L. C. A.; FILHO, N. B. A.; ZAKON, A., 2000, "Cinzas da Incineração de lixo: matéria-prima para cerâmicas", *Ciência Hoje*, v. 27, n. 160, pp. 63-67.
- NOVA GERAR, 2003, Relatório Ambiental da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, Relatório para o Banco Mundial. Nova Iguaçu, RJ, Brasil.

- ^aOLIVEIRA, L. B., 2004, *Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ^bOLIVEIRA, A. C., 2004. *CTR Nova Iguaçu: Responsabilidade Social e Monitoramento Ambiental*. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/cursos_seminarios/seminario_world_bank/palestras/artur_cetesb_ccarbono_23_03_04.pdf>. Acesso em: 14 de Abril de 2010.
- RIBER, C., RODUSHKIN, I., SPLIID, H., et al., 2007, “Method for fractional solid-waste sampling and chemical analysis”, *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, v. 87, n. 5 (Abril), pp. 321-335.
- ROSE, J. L., 2009, *Análise comparativa entre as reduções da emissão de metano em camadas oxidativas experimentais*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SANTOS, L. A. O., PRESA, E. P., 1995, “Compressibilidade de Aterros Sanitários Controlados”. *III Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos – REGEO’95*, 577-591, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.
- SENADO FEDERAL, 2000. *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento- Agenda 21*. 3ª ed, Brasília.
- SIMÕES, G. F., CAMPOS, T. M. P., GALVÃO, T. C. B., et al., 1996, “Considerações sobre o fenômeno de adensamento em aterros sanitários”. *II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, 131-135, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M., 2000, “Impacto Ambiental dos Grandes Depósitos de Resíduos Urbanos e Industriais”. In: Sisinno, C. L. S., Oliveira, R. M. (org.), *Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma Visão Multidisciplinar*, 1ª ed, capítulo 1, Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.

SNIS - SECRETARIA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2009. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2007*. Brasília, MCIDADES.

SCHUELER, A. S., MAHLER, C. F., MENEZES, R., et al., 2009, “Valorização dos resíduos sólidos urbanos como energia em cidades brasileiras”. In: *III Congresso Interamericano de Resíduos Sólidos de AIDIS*, Buenos Aires, Maio.

TOLMASQUIM, M. T., 2003. *Fontes renováveis de energia no Brasil*. 1ª Ed. Rio de Janeiro, Interciência.

WALL, D. K, ZEISS, C., 1995, “Municipal Landfill Biodegradation and Settlement”. *Journal of Environmental Engineering*, v. 121, n. 3 (Mar), pp. 214-224.

ANEXO 1 – Versão Traduzida da Norma Alemã DGGT E 1-7 GDA

Recomendações da GDA - Geotécnica dos Aterros Sanitários e Resíduos Gerados, 1997. 3ª ed., Publicado pela Sociedade Alemã de Geotécnica e.V. (DGGT).

E 1-7 Identificação de resíduos e grupos de matéria

1. Diversos

A identificação e descrição de resíduos apresentadas a seguir são feitas a partir dos aspectos da mecânica de resíduos e não a partir da classe de aterros sanitários usuais na técnica de retirada dos resíduos municipais. Ela deverá dar ao órgão responsável pelo descarte uma primeira informação sobre as características dos materiais contidos nos resíduos no tocante a seu processamento geotécnico. Para tanto, em uma primeira instância, os resíduos devem ser descritos quanto ao tipo (“identificação dos resíduos”) e quanto à sua condição. Da determinação do tipo de resíduo obtém-se as indicações para a análise dos grupos de materiais, o que ocorre em segunda instância.

As características do material a serem adotadas para o cálculo devem ser, como em todas as construções, testadas em amostras. Neste processo deverá ser observado que o exame ocorra em uma quantidade suficiente de amostras. No tocante ao exame das características do material, isto vale tanto para a mistura dos materiais (tipos de resíduos) quanto para os grupos de materiais.

2. Identificação dos Resíduos

Composição dos Resíduos

A composição dos tipos de resíduos aqui recomendada se apóia no folheto de instruções da LAGA, contudo apenas relaciona os tipos de resíduos que são acondicionados diretamente em aterros sanitários e dos quais se espera um comportamento mecânico especial. Para esta composição são levadas em consideração, desde que disponíveis e adequadas, as definições de resíduos usuais da técnica de coleta dos resíduos municipais, bem como as constantes no “Catálogo de Resíduos Sujeitos a Monitoramento Especial”, do Anexo C da técnica de coleta de resíduos.

1. Resíduos Municipais

1.1. Lixo Doméstico (911 01) - Basicamente lixo doméstico, bem como resíduos industriais semelhantes a lixo doméstico, que são retirados juntamente com o mesmo.

1.2. Lixo a granel (914 01) - Resíduos sólidos, que são recolhidos separadamente do lixo doméstico em virtude de seu volume.

1.3. Resíduos verdes - Resíduos oriundos de jardins e praças públicas (917 01), resíduos de feiras livres (916 01), resíduos biológicos coletados separadamente e resíduos industriais compostos basicamente de resíduos orgânicos ou componentes vegetais (cozinhas industriais ou semelhantes).

1.4. Resíduos industriais semelhantes a lixo doméstico - Lixo oriundo de estabelecimentos comerciais, empresas, prestadoras de serviço, estabelecimentos públicos e indústrias, desde que possam ser separados por tipo e quantidade e retirados como lixo doméstico ou junto com o mesmo. A coleta também pode ser feita separada do lixo doméstico.

1.5 Sedimentos de esgoto - Sedimentos oriundos do tratamento de água de esgoto.

2. Restos de Obras

2.1. Entulho (314 09) - Materiais minerais de construções mesmo que contendo um baixo índice de partículas extrínsecas.

2.2. Resíduos de instalações de construção (912 06) - Materiais não minerais de operações de construção, também com baixo índice de partículas extrínsecas.

2.3 Terras de escavação (313 11) - Material rochoso e terra surgidas naturalmente ou já utilizadas, também material contaminado.

2.4. Resíduos de obras em estradas/ruas (314 10) - Materiais minerais que foram ligadas hidraulicamente com betume ou piche utilizados na construção de estradas desprovidas de aglutinantes.

3. Resíduos Específicos de Produção

Lixo oriundo da indústria, empresas e outras instalações, exceto resultante de construções.

3.1. Sedimentos - Resíduos com consistência similar a sedimentos, p.ex. sedimentos de água de esgoto, sedimentos fecais, fezes e outros materiais semelhantes a sedimentos resultantes da produção.

3.2 Resíduos de queima - Resíduos de produção de processos térmicos, como cinzas, escórias de carvão, entre outros.

3.3. Resíduos sólidos - Resíduos de produção, cuja consistência não seja semelhante a sedimentos e que não sofreram pré-tratamento térmico.

3.3.1 Resíduos de madeira (17) - Resíduos de madeira resultantes do processamento e fabricação.

3.3.2 Resíduos de celulose, papel e papelão (18)

3.3.3 Resíduos contendo metal (35)

3.3.4 Resíduos plásticos, de borracha, de tecidos e têxteis (parcialmente 57, 58)

3.3.5 Outros resíduos

4. Resíduos Mecânico-Biológicos Pré-tratados

Complementarmente à identificação ocorre a descrição dos tipos de resíduos a partir dos seguintes critérios de avaliação:

- Tipo do fornecimento: p.ex. caminhões de lixo, caminhões de lixo a granel, caminhões container e caminhões basculantes.
- Origem: p.ex. lixo doméstico, do comércio, da indústria, de instalações de purificação.
- Estrutura: p.ex. misturas de lixo doméstico, sedimentos, resíduos de pavimentação.
- Componentes distintamente predominantes: p.ex. solos, lixo doméstico, resíduos verdes, sedimentos de esgoto e semelhantes.

Descrição do Estado por Ocasão do Fornecimento

Como primeiro passo da qualificação das características do lixo com referência à sua relevância para a mecânica dos resíduos é feita uma descrição da condição do tipo de resíduo. Na descrição ampla da condição devem ser definidas características do lixo que não podem ser aventadas quando da análise da amostra. A descrição ocorre no âmbito do controle de entrada. Neste processo devem ser considerados os seguintes critérios:

- Quantidade de lixo [t];
- Volume de entrega estimado [m³];
- Homogeneidade do material;
- somente um tipo de lixo

- a mistura de diversos tipos de lixo (estimativa)
- mistura de grupos de materiais

basicamente misturado (p.ex. lixo doméstico, lixo misto), respectivamente. Não misturado.

- Correlação da mistura de materiais ;

- O lixo se desintegra no descarregamento em agregados isolados, p.ex. restos de obra.

- O lixo se mantém aglutinado no descarregamento.

p.ex. restos de cabos elétricos (enganchados, emaranhados, enrolados).

p.ex. Sedimentos (aglutinados).

3. Análise dos Grupos de Materiais dos Resíduos

No tocante à análise dos grupos de materiais, os dejetos são classificados e identificados quanto a grupos de materiais. Os grupos de materiais são escolhidos de tal maneira que grupos de materiais isolados apresentem características de material similares com referência ao comportamento mecânico e estabilidade bioquímica.

Definição dos Grupos de Materiais

Para a classificação ocorre uma divisão dos componentes de resíduos em 12 grupos de materiais. Esta divisão se apóia, o tanto quanto possível, nas análises de resíduos convencionais, sendo que grupos de materiais isolados que apresentem similaridade quanto às suas características mecânicas e estabilidade bioquímica foram consolidados (fraldas e papel). Grupos de materiais que abrangem características mecânicas e estabilidade bioquímica diversas foram divididos (plásticos em plásticos duros e moles).

A classificação dos grupos de materiais se orienta nas possibilidades técnicas da análise de dejetos. Como uma classificação abrangente de uma amostra de resíduos não é praticável, são mantidos os menores grupos que foram quantificados através do peneiramento.

- Peças grandes: materiais residuais de grande porte, que são compostos de diversos componentes, p.ex. móveis, colchões.

- Papelão/Papel: materiais residuais compostas basicamente de papel ou fibras semelhantes a papel, p.ex. papelão, embalagens de papel, papel, impressos, tapetes, fraldas.

- Plásticos macios: despejos que se componham basicamente de materiais sintéticas macias ou cujas características sejam dominadas por tais materiais, p.ex. embalagens (sacos de leite), lâminas, massas densas, borracha, couro macio.
- Plásticos duros: Despejos que se componham basicamente de materiais sintéticas duras, p.ex. embalagens (copos de iogurte), plásticos rígidos, pisos com couros duros (saltos de sapato).
- Metais: p.ex. metais ferrosos e não ferrosos.
- Minerais: despejos que se componham basicamente de materiais minerais ou que apresentem um comportamento mecânico ou biológico similar (inertes) como vidro, cerâmica, e no caso de fornecimentos monotípicos: restos de combustão, solo.
- Madeira
- Orgânico: despejos que sejam de origem natural, orgânica, p.ex. vegetais, aparas de capim, plantas, folhas secas.
- Sedimentos
- Restos de classificação:
 - Granulometria de 40 – 120 mm
 - Granulometria de 8 – 40 mm
 - Granulometria \leq 8 mm

Classificação a partir de Grupos de Materiais

Para a descrição dos tipos de resíduos, estes são em primeira instância separados em grupos de materiais.

Condição dos grupos de materiais:

Os grupos de materiais isolados são descritos através de parâmetros adequados no tocante às características relevantes para o tratamento geotécnico:

- Formas e medidas;
- Estabilidade bioquímica;
- Conteúdo de água;
- Alteração da massa.

Para a descrição das condições dos grupos de materiais valem os seguintes parâmetros:

a) Forma e medidas

A descrição geométrica dos grupos de materiais é feita considerando-se:

- Dimensões

Dim 0: granulometria (sem comprimento lateral, i.e. ≤ 8 mm);

Dim 1: fibras (um comprimento lateral em relação aos outros dois lados);

Dim 2: (dois comprimentos laterais em relação a um terceiro);

Dim 3: caixa (3 comprimentos laterais).

- Tamanho da peça

A classificação é feita de acordo com o peneiramento de resíduos com forma semelhante a solos de acordo com DIN 18123 e de resíduos com forma não semelhante a solo com peneiramento de resíduos de 8 mm, 40 mm, 120 mm, a fração maior que 120 mm é novamente discernida visualmente em 500 mm e 1000 mm. A fração referente à cada processo de peneiramento da massa total dos grupos de materiais é indicada em peso %-t.

b) Estabilidade bioquímica

A estabilidade bioquímica dos resíduos descreve em quais proporções as características mecânicas dos grupos de materiais foram sujeitadas a alterações temporais. Através de uma descrição adequada da estabilidade bioquímica pode se renunciar a uma descrição da alteração dos parâmetros, dimensões e tamanhos individuais dos grupos de materiais, bem como da alteração da compressibilidade, do teor de água e similares da mistura através de processos de transformação biológica, química e física. Para a definição do grau de decomposição do composto, pode ser aplicado o teste do auto-aquecimento e a definição da atividade de respiração. No momento está sendo trabalhado na uniformidade dos processos para a aplicação geral em resíduos.

c) Teor de umidade

O conteúdo de água é definido através da secagem em duplo estágio da amostra a 70°C e em seguida a 105°C.

d) Alteração da massa

Através da estabilidade bioquímica pode-se fazer um prognóstico de como se alteram as condições mecânicas de um grupo de materiais. Em virtude dos processos de transformação no corpo dos aterros sanitários, contudo, a parcela de determinado grupo de materiais de uma mistura pode ser alterada através da perda principalmente de materiais orgânicos. Ao mesmo tempo muda o parâmetro “massa do resíduo introduzido”, o qual é de substancial importância para a manipulação geotécnica. A alteração da massa é – tal qual a alteração da estabilidade bioquímica – um processo que ocorre com dependência temporal.

ANEXO 2 – Aterro Sanitário da CTR-NI

A base de fundo do aterro possui uma declividade de 2%, com cotas variando de 24 m e 34 m. O sistema de drenagem principal de fundo é composto por um dreno principal constituído por tubos de concreto do tipo CA-3, com diâmetro de 0,40 m, implantados em vala drenante constituída de rachão e brita (Figura A.2). O conjunto é envolto por uma manta geotêxtil que possui a finalidade de evitar a colmatação do sistema pela entrada de finos (NOVA GERAR, 2003).

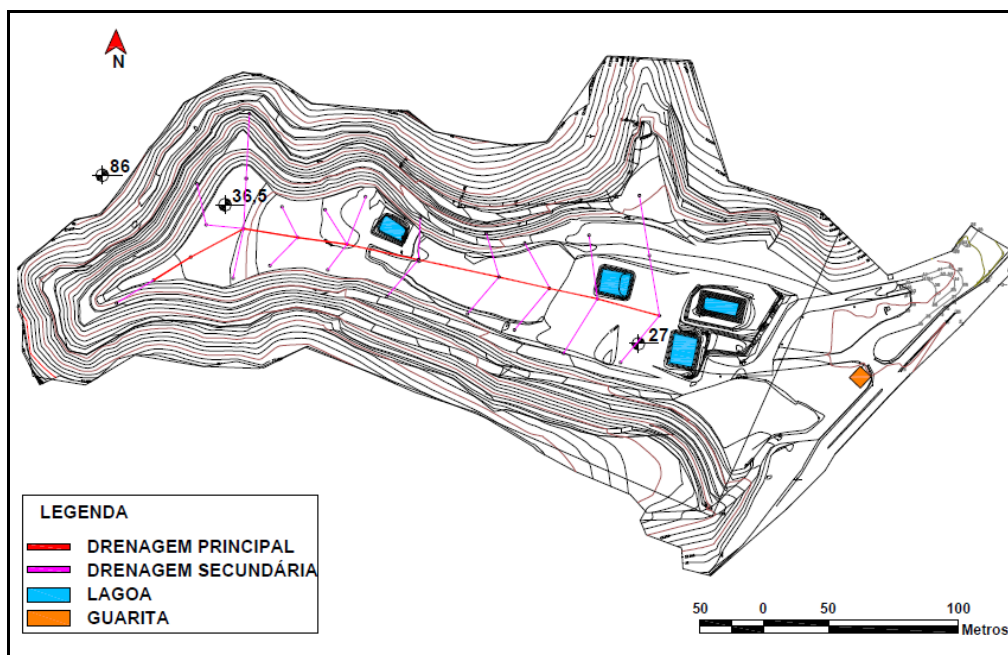


Figura A.2: Planta esquemática da rede de drenagem de base do aterro (SA. PAULISTA, 2001).

O sistema de drenagem secundário em forma de espinha de peixe possui seção retangular de 0,70m por 0,80m executados com brita 4, envoltos com manta de geotêxtil não tecidas do tipo BIDIM OP-60 a fim de evitar eventuais carreamentos do solo de fundação para o sistema de drenagem.

A drenagem horizontal tem a função de captar o lixiviado e biogás gerados nas células e conduzi-los aos drenos verticais. Eles são implantados em todas as camadas de resíduos, seguindo o mesmo alinhamento dos drenos de fundo, e possuem dimensões de 0,80m x 0,40m. Na Figura B.2 observam-se os drenos horizontais de camadas conectados ao dreno vertical, que por sua vez se conecta a drenagem de fundo do aterro.

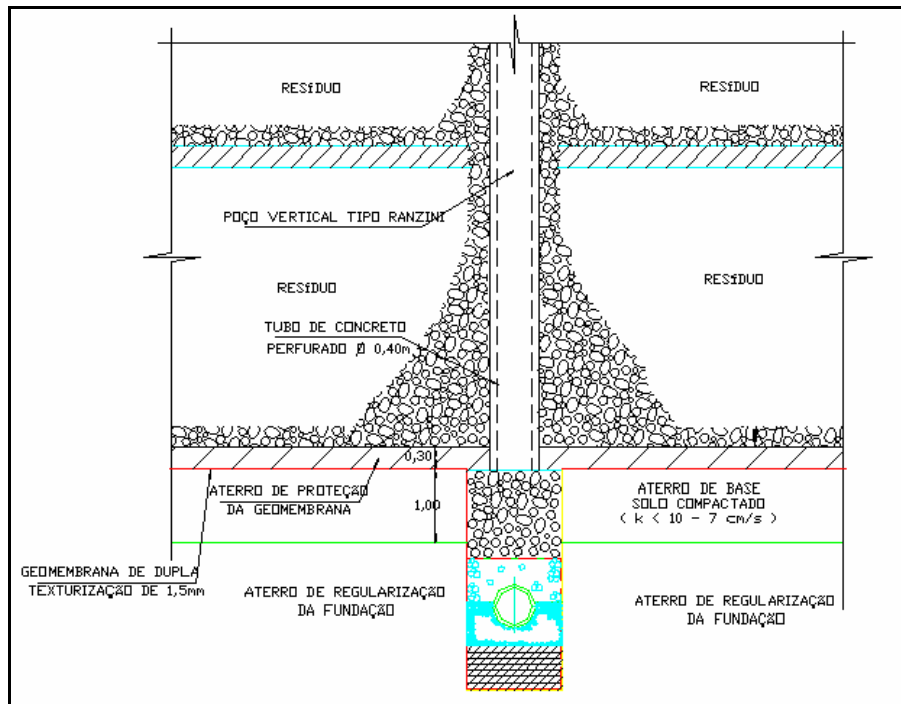


Figura B.2: Sistema de Drenagem Horizontal de Camadas (SA. PAULISTA, 2001).

APÊNDICE 1 – Coleta Convencional de Nova Iguaçu

Tabela A.1: Coleta Convencional de Nova Iguaçu: setores, placas dos caminhões, frequência e turno (HAZTEC, 2010).

<i>Setor</i>	<i>Placas dos caminhões</i>	<i>Coleta</i>		<i>Turno</i>
		<i>Frequência</i>		
		<i>Seg/Qua/Sex</i>	<i>Ter/Qui/Sab</i>	
1- Lado II	MWY7898	C	C	Diurno
	JJF6296	B	C	
	JJF6366	C	C	
	JHN2523	C	B	
	JJF6356	C	C	
	MWY4778	C	C	
	JJF6316	C	C	
	JHN2503	C	C	
	JJF6306	C	C	
	MWR9035	C	C	
	JHN2583	C	C	
	LPZ1334	C	C	
	KZS0898	C	C	
	JHK1327	C	C	
	JJF6336	C	C	
2- Cabuçu	JHK1317	C	C	Diurno
	JHN2593	C	C	
	JHN2493	C	C	
	JJF0646	C	C	
	JGZ0278	C	C	
	JJF6326	C	C	
	JJF6376	C	C	
	JJF6346	C	C	
	JJF6906	C	C	
	3- Austin/Palhada	MWS9984	B	
MWY3759		C	C	
JGZ0278		C	C	
JHN3753		C	C	
JJF1596		C	C	
JJF6326		A	A	
4- Centro	JJF6316	B	B	Noturno
	JJF6906	A	B	

Na Tabela B.1, pode ser observado parte dos dados fornecidos pela HAZTEC (2010) das placas dos caminhões, peso e dia da semana que os resíduos da Empresa Green Life foram depositados no aterro sanitário da CTR-NI no ano de 2009.

Tabela B.1: CTR Nova Iguaçu: Dia/Mês/Ano, Placa e Peso dos RSU depositados.

<i>Dia/Mês/Ano</i>	<i>Horário(h)</i>	<i>Placas dos Caminhões</i>	<i>Peso Líquido (Kg)</i>	<i>Dia da Semana</i>
09/2/09	16:03	JJF6336	10.560,00	2 ^a
10/2/09	11:16	JJF6376	10.920,00	3 ^a
10/2/09	11:27	JHK1327	10.290,00	3 ^a
10/2/09	12:29	JJF6326	12.700,00	3 ^a
10/2/09	13:40	JHN3753	10.790,00	3 ^a
10/2/09	13:41	JJF0646	8.090,00	3 ^a
10/2/09	14:37	JJF6356	10.850,00	3 ^a
10/2/09	14:45	JHN2503	7.700,00	3 ^a
10/2/09	15:35	JJF6376	10.340,00	3 ^a
10/2/09	15:46	JHN2583	8.370,00	3 ^a
10/2/09	17:00	JHK1327	8.710,00	3 ^a
10/2/09	17:33	JJF6316	8.390,00	3 ^a

APÊNDICE 2– Resultados da Análise Gravimétrica dos RSU de NI

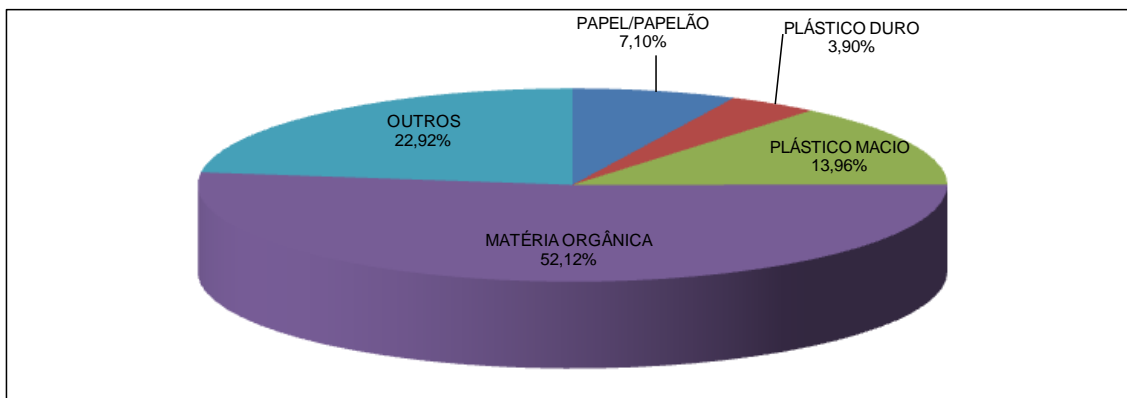


Figura A.2: Amostra 1 - Austin (Classe C).

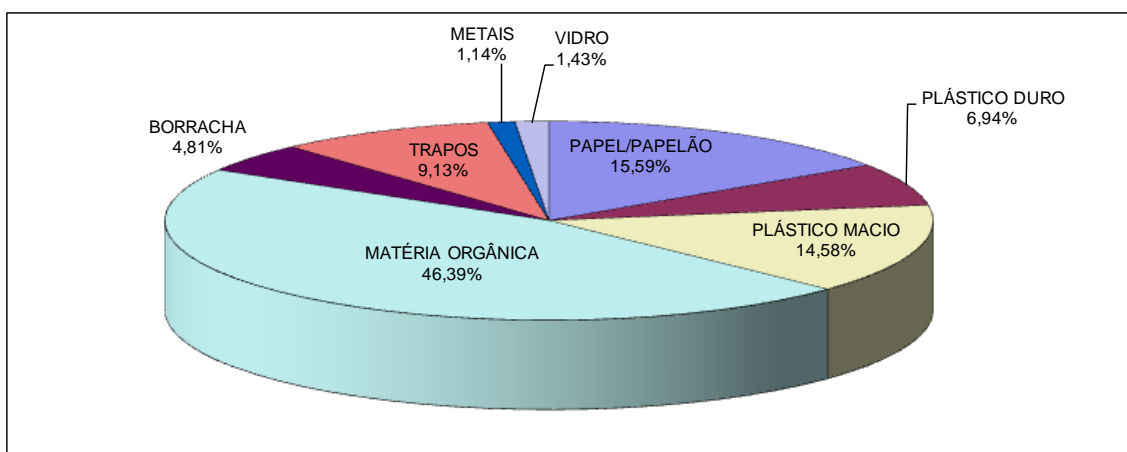


Figura B.2: Amostra 2 - Lado II (Classe C).

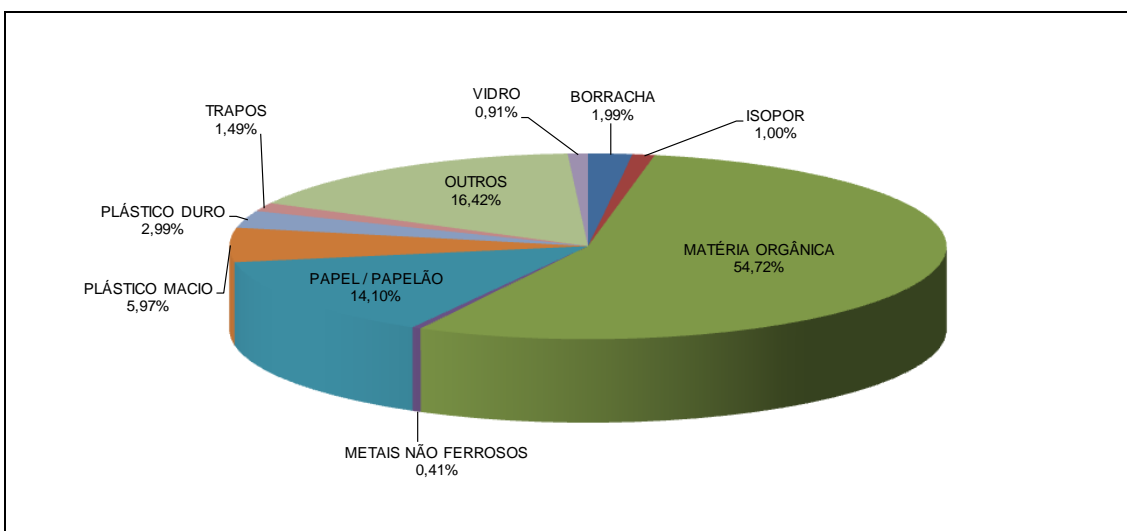


Figura C.2: Amostra 3 - Estrada de Adrianópolis (Classe C).

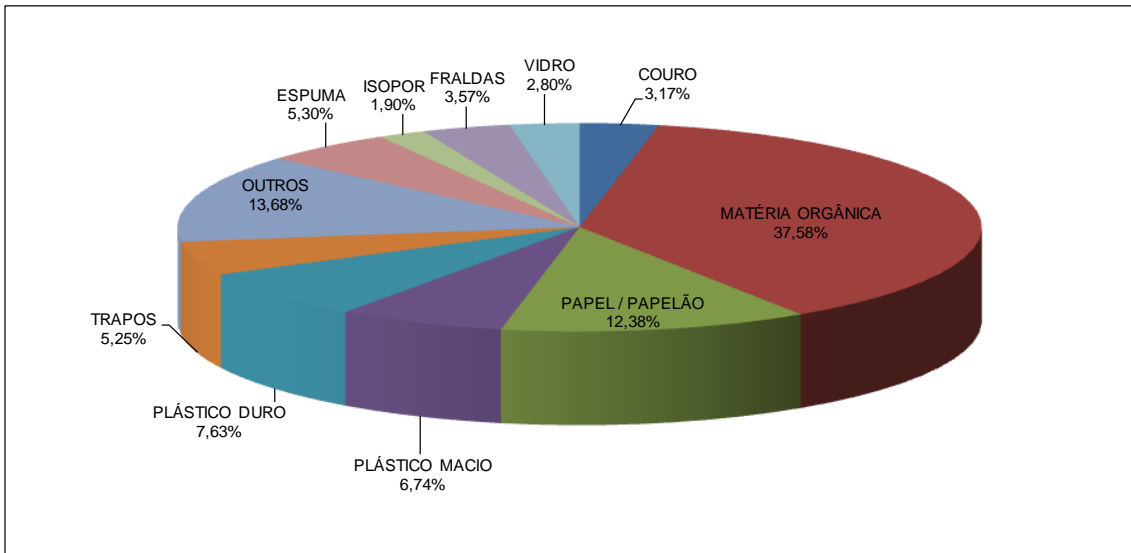


Figura D.2: Amostra 4 - Centro de Nova Iguaçu (Classe A).

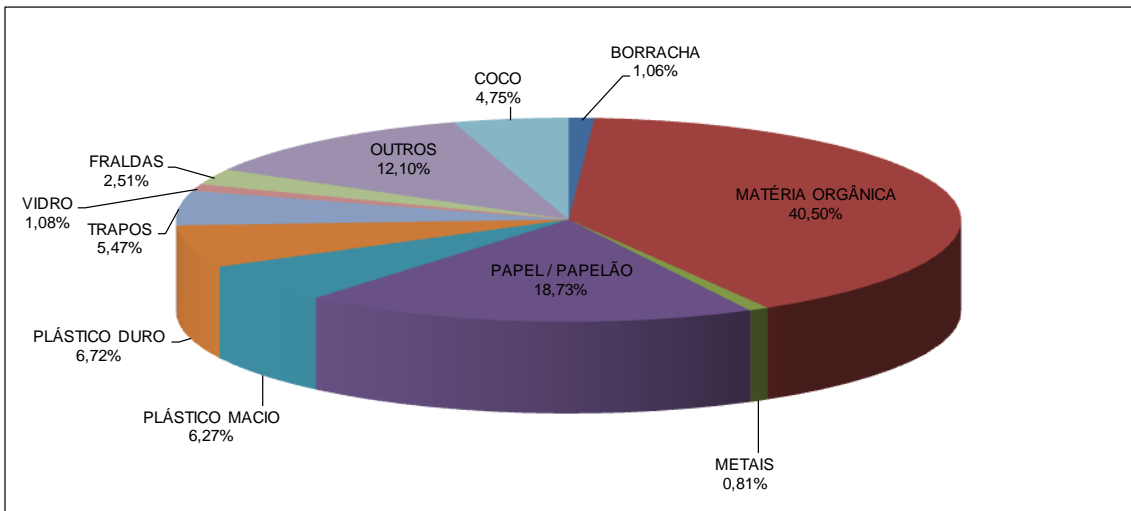


Figura E.2: Amostra 5 - Cabuçu (Classe C).

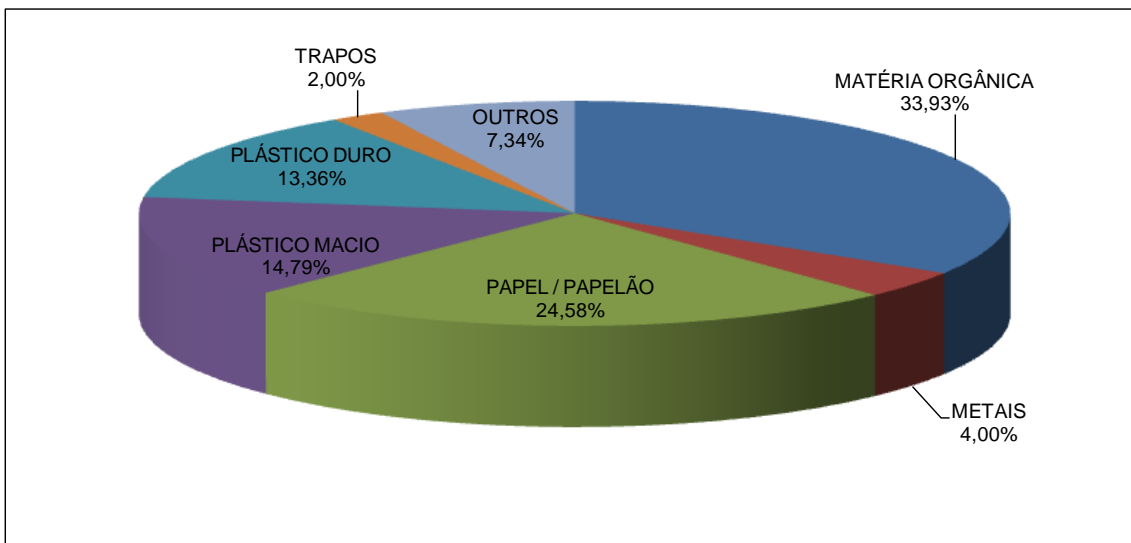


Figura F.2: Amostra 6 - Cabuçu (Classe C).

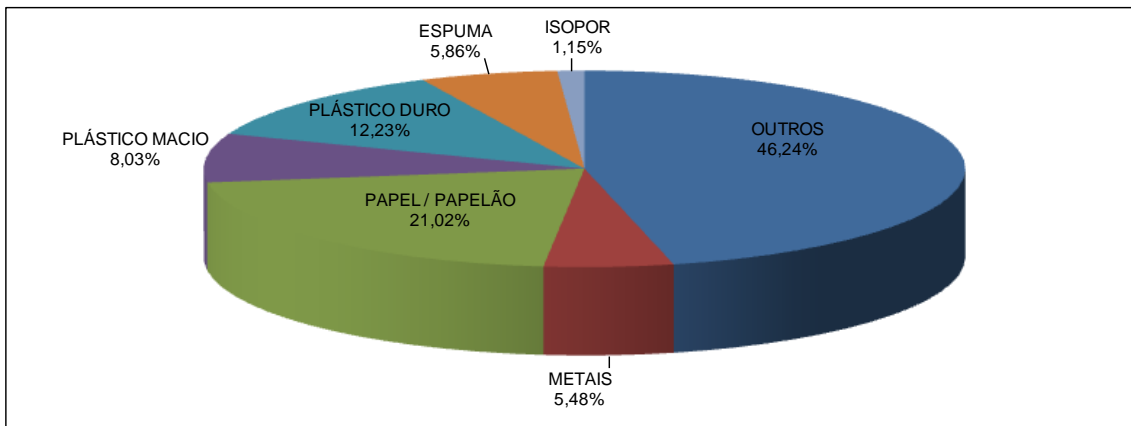


Figura G.2: Amostra 7 - Palhada (Classe B).

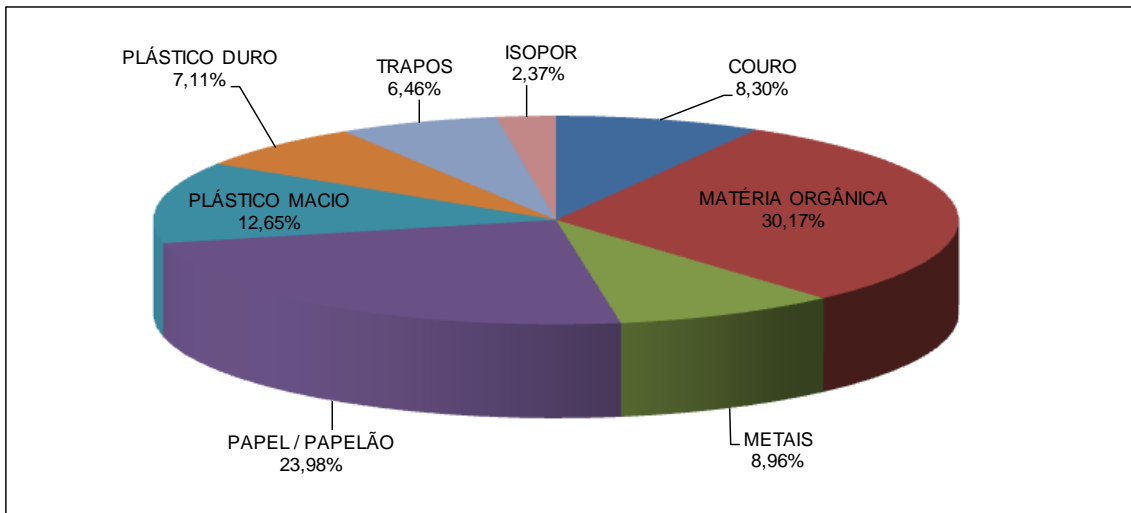


Figura H.2: Amostra 8 – Austin (Classe B).

APÊNDICE 3 – Cálculos dos Percentuais Crescentes de Reciclagem

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 10%)</i>	<i>%</i>	
VIDRO	48,00	2,90	2,61	2,61	1,25
COURO	4467,00	3,28	2,95	2,95	131,98
ISOPOR	9170,00	1,97	1,77	1,77	162,72
MATÉRIA ORGÂNICA	1300,00	38,90	38,90	38,93	506,13
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	12,81	11,53	11,54	436,16
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,98	6,28	6,29	492,29
PLÁSTICO DURO	7830,00	7,90	7,11	7,12	557,18
TRAPOS	4170,00	5,43	5,43	5,43	226,62
FRALDAS	5384,00	3,68	3,68	3,68	198,30
REJEITO	2075,00	14,16	14,16	14,17	294,07
ESPUMA	341,00	5,49	5,49	5,49	18,74
Total		103,50	99,92	100,00	3025,44

Figura A.3: Amostra 04 – Reciclagem de 10%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 10%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	3,60	3,24	3,82	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	2294,00	30,50	30,50	35,97	825,08
PAPEL / PAPELÃO	3814,00	22,10	19,89	23,46	894,58
PLÁSTICO MACIO	2727,00	13,30	11,97	14,12	384,93
PLÁSTICO DURO	5360,00	12,00	10,80	12,74	682,64
TRAPOS	1850,00	1,80	1,80	2,12	39,27
REJEITO	3098,00	6,60	6,60	7,78	241,12
Total		89,90	84,80	100,00	3067,62

Figura B.3: Amostra 06 – Reciclagem de 10%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 10%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	4,30	3,87	5,18	0,00
ISOPOR	9170,00	0,90	0,81	1,08	99,38
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	16,50	14,85	19,87	751,04
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,30	5,67	7,59	594,01
PLÁSTICO DURO	7830,00	9,60	8,64	11,56	905,15
ESPUMA	341,00	4,60	4,60	6,15	20,99
REJEITO	2075,00	36,30	36,30	48,57	1007,79
Total		78,50	74,74	100,00	3378,37

Figura C.3: Amostra 07 – Reciclagem de 10%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 10%)</i>	<i>%</i>	
ISOPOR	8967,00	0,60	0,54	0,55	49,42
MADEIRA	2053,00	6,40	5,76	5,88	120,69
MATÉRIA ORGÂNICA	0,00	34,80	34,80	35,52	0,00
PAPEL / PAPELÃO	2017,00	5,30	4,77	4,87	98,19
PLÁSTICO MACIO	3967,00	4,80	4,32	4,41	174,91
PLÁSTICO DURO	5417,00	5,10	4,59	4,68	253,77
TRAPOS	1612,00	2,40	2,40	2,45	39,49
COCO	371,00	8,40	8,40	8,57	31,81
CAPIM	1113,00	16,00	16,00	16,33	181,75
FIBRAS	884,00	16,40	16,40	16,74	147,96
TOTAL		100,20	97,98	100,00	1097,99

Figura D.3: Amostra 09– Reciclagem de 10%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 25%)</i>	<i>%</i>	
VIDRO	48,00	2,90	2,18	2,30	1,10
COURO	4467,00	3,28	2,46	2,60	116,23
ISOPOR	9170,00	1,97	1,48	1,56	143,31
MATÉRIA ORGÂNICA	1300,00	38,90	38,90	41,15	534,91
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	12,81	9,61	10,16	384,14
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,98	5,24	5,54	433,57
PLÁSTICO DURO	7830,00	7,90	5,93	6,27	490,72
TRAPOS	4170,00	5,43	5,43	5,74	239,51
FRALDAS	5384,00	3,68	3,68	3,89	209,57
REJEITO*	2075,00	14,16	14,16	14,98	310,79
ESPUMA	341,00	5,49	5,49	5,81	19,80
Total		103,50	94,54	100,00	2883,66

Figura E.3: Amostra 04– Reciclagem de 25%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 25%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	3,60	2,70	3,50	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	2294,00	30,50	30,50	39,53	906,90
PAPEL / PAPELÃO	3814,00	22,10	16,58	21,48	819,40
PLÁSTICO MACIO	2727,00	13,30	9,98	12,93	352,58
PLÁSTICO DURO	5360,00	12,00	9,00	11,67	625,28
TRAPOS	1850,00	1,80	1,80	2,33	43,16
REJEITO	3098,00	6,60	6,60	8,55	265,03
Total		89,90	77,15	100,00	3012,35

Figura F.3: Amostra 06– Reciclagem de 25%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 25%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	4,30	3,23	4,67	0,00
ISOPOR	9170,00	0,90	0,68	0,98	89,58
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	16,50	12,38	17,91	676,95
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,30	4,73	6,84	535,41
PLÁSTICO DURO	7830,00	9,60	7,20	10,42	815,86
ESPUMA	341,00	4,60	4,60	6,66	22,70
REJEITO	2075,00	36,30	36,30	52,53	1090,05
Total		78,50	69,10	100,00	3230,55

Figura G.3: Amostra 07– Reciclagem de 25%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 25%)</i>	<i>%</i>	
ISOPOR	8967,00	0,60	0,45	0,48	42,63
MADEIRA	2053,00	6,40	4,80	5,07	104,11
MATÉRIA ORGÂNICA	0,00	34,80	34,80	36,77	0,00
PAPEL / PAPELÃO	2017,00	5,30	3,98	4,20	84,71
PLÁSTICO MACIO	3967,00	4,80	3,60	3,80	150,88
PLÁSTICO DURO	5417,00	5,10	3,83	4,04	218,91
TRAPOS	1612,00	2,40	2,40	2,54	40,87
COCO	371,00	8,40	8,40	8,87	32,93
CAPIM	1113,00	16,00	16,00	16,90	188,15
FIBRAS	884,00	16,40	16,40	17,33	153,17
TOTAL		100,20	94,65	100,00	1016,37

Figura H.3: Amostra 09– Reciclagem de 25%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 50%)</i>	<i>%</i>	
VIDRO	48,00	2,90	1,45	1,63	0,78
COURO	4467,00	3,28	1,64	1,85	82,51
ISOPOR	9170,00	1,97	0,99	1,11	101,74
MATÉRIA ORGÂNICA	1300,00	38,90	38,90	43,81	569,59
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	12,81	9,61	10,82	409,05
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,98	3,49	3,93	307,79
PLÁSTICO DURO	7830,00	7,90	3,95	4,45	348,36
TRAPOS	4170,00	5,43	5,43	6,12	255,04
FRALDAS	5384,00	3,68	3,68	4,14	223,16
REJEITO*	2075,00	14,16	14,16	15,95	330,94
ESPUMA	341,00	5,49	5,49	6,18	21,09
Total		103,50	88,78	100,00	2650,07

Figura I.3: Amostra 04– Reciclagem de 50%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 50%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	3,60	1,80	2,80	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	2294,00	30,50	30,50	47,36	1086,44
PAPEL / PAPELÃO	3814,00	22,10	11,05	17,16	654,42
PLÁSTICO MACIO	2727,00	13,30	6,65	10,33	281,59
PLÁSTICO DURO	5360,00	12,00	6,00	9,32	499,38
TRAPOS	1850,00	1,80	1,80	2,80	51,71
REJEITO	3098,00	6,60	6,60	10,25	317,50
Total		89,90	64,40	100,00	2891,04

Figura J.3: Amostra 06– Reciclagem de 50%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 50%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	4,30	2,15	3,60	0,00
ISOPOR	9170,00	0,90	0,45	0,75	69,12
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	16,50	8,25	13,82	522,36
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,30	3,15	5,28	413,14
PLÁSTICO DURO	7830,00	9,60	4,80	8,04	629,55
ESPUMA	341,00	4,60	4,60	7,71	26,27
REJEITO	2075,00	36,30	36,30	60,80	1261,68
Total		78,50	59,70	100,00	2922,13

Figura K.3: Amostra 07– Reciclagem de 50%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 50%)</i>	<i>%</i>	
ISOPOR	8967,00	0,60	0,30	0,34	30,19
MADEIRA	2053,00	6,40	3,20	3,59	73,73
MATÉRIA ORGÂNICA	0,00	34,80	34,80	39,06	0,00
PAPEL / PAPELÃO	2017,00	5,30	2,65	2,97	59,99
PLÁSTICO MACIO	3967,00	4,80	2,40	2,69	106,86
PLÁSTICO DURO	5417,00	5,10	2,55	2,86	155,03
TRAPOS	1612,00	2,40	2,40	2,69	43,42
COCO	371,00	8,40	8,40	9,43	34,98
CAPIM	1113,00	16,00	16,00	17,96	199,87
FIBRAS	884,00	16,40	16,40	18,41	162,71
TOTAL		100,20	89,10	100,00	866,78

Figura L.3: Amostra 09– Reciclagem de 50%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 75%)</i>	<i>%</i>	
VIDRO	48,00	2,90	0,73	0,95	0,45
COURO	4467,00	3,28	0,82	1,07	47,81
ISOPOR	9170,00	1,97	0,49	0,64	58,94
MATÉRIA ORGÂNICA	1300,00	38,90	38,90	50,77	660,01
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	12,81	3,20	4,18	157,99
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,98	1,75	2,28	178,33
PLÁSTICO DURO	7830,00	7,90	1,98	2,58	201,83
TRAPOS	4170,00	5,43	5,43	7,09	295,52
FRALDAS	5384,00	3,68	3,68	4,80	258,59
REJEITO*	2075,00	14,16	14,16	18,48	383,48
ESPUMA	341,00	5,49	5,49	7,17	24,43
Total		103,50	76,62	100,00	2267,39

Figura M.3: Amostra 04– Reciclagem de 75%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 75%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	3,60	0,90	1,74	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	2294,00	30,50	30,50	59,05	1354,64
PAPEL / PAPELÃO	3814,00	22,10	5,53	10,70	407,98
PLÁSTICO MACIO	2727,00	13,30	3,33	6,44	175,55
PLÁSTICO DURO	5360,00	12,00	3,00	5,81	311,33
TRAPOS	1850,00	1,80	1,80	3,48	64,47
REJEITO	3098,00	6,60	6,60	12,78	395,87
Total		89,90	51,65	100,00	2709,84

Figura N.3: Amostra 06– Reciclagem de 75%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 75%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	4,30	1,08	2,14	0,00
ISOPOR	9170,00	0,90	0,23	0,45	41,02
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	16,50	4,13	8,20	309,99
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,30	1,58	3,13	245,17
PLÁSTICO DURO	7830,00	9,60	2,40	4,77	373,60
ESPUMA	341,00	4,60	4,60	9,15	31,18
REJEITO	2075,00	36,30	36,30	72,17	1497,47
Total		78,50	50,30	100,00	2498,43

Figura O.3: Amostra 07– Reciclagem de 75%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 75%)</i>	<i>%</i>	
ISOPOR	8967,00	0,60	0,15	0,18	16,10
MADEIRA	2053,00	6,40	1,60	1,92	39,32
MATÉRIA ORGÂNICA	0,00	34,80	34,80	41,65	0,00
PAPEL / PAPELÃO	2017,00	5,30	1,33	1,59	31,99
PLÁSTICO MACIO	3967,00	4,80	1,20	1,44	56,98
PLÁSTICO DURO	5417,00	5,10	1,28	1,53	82,67
TRAPOS	1612,00	2,40	2,40	2,87	46,31
COCO	371,00	8,40	8,40	10,05	37,30
CAPIM	1113,00	16,00	16,00	19,15	213,14
FIBRAS	884,00	16,40	16,40	19,63	173,52
TOTAL		100,20	83,55	100,00	697,31

Figura P.3: Amostra 09– Reciclagem de 75%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 100%)</i>	<i>%</i>	
VIDRO	48,00	2,90	0,00	0,00	0,00
COURO	4467,00	3,28	0,00	0,00	0,00
ISOPOR	9170,00	1,97	0,00	0,00	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	1300,00	38,90	38,90	57,49	747,41
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	12,81	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,98	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO DURO	7830,00	7,90	0,00	0,00	0,00
TRAPOS	4170,00	5,43	5,43	8,03	334,66
FRALDAS	5384,00	3,68	3,68	5,44	292,83
REJEITO*	2075,00	14,16	14,16	20,93	434,26
ESPUMA	341,00	5,49	5,49	8,11	27,67
Total		103,50	67,66	100,00	1836,84

Figura Q.3: Amostra 04– Reciclagem de 100%.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>			<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
		<i>Kg</i>	<i>Kg (- 100%)</i>	<i>%</i>	
METAIS	0,00	3,60	0,00	0,00	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	2294,00	30,50	30,50	78,41	1798,64
PAPEL / PAPELÃO	3814,00	22,10	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO MACIO	2727,00	13,30	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO DURO	5360,00	12,00	0,00	0,00	0,00
TRAPOS	1850,00	1,80	1,80	4,63	85,60
REJEITO	3098,00	6,60	6,60	16,97	525,62
Total		89,90	38,90	100,00	2409,87

Figura R.3: Amostra 06– Reciclagem de 100%.

Frações	P.C. kcal/kg	Composição			
		Kg	Kg (- 100%)	%	P.C. da fração kcal/kg
METAIS	0,00	4,30	0,00	0,00	0,00
ISOPOR	9170,00	0,90	0,00	0,00	0,00
PAPEL / PAPELÃO	3780,00	16,50	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO MACIO	7830,00	6,30	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO DURO	7830,00	9,60	0,00	0,00	0,00
ESPUMA	341,00	4,60	4,60	11,25	38,35
REJEITO	2075,00	36,30	36,30	88,75	1841,63
Total		78,50	40,90	100,00	1879,98

Figura S.3: Amostra 07– Reciclagem de 100%.

Frações	P.C. kcal/kg	Composição			
		Kg	Kg (- 100%)	%	P.C. da fração kcal/kg
ISOPOR	8967,00	0,60	0,00	0,00	0,00
MADEIRA	2053,00	6,40	0,00	0,00	0,00
MATÉRIA ORGÂNICA	0,00	34,80	34,80	44,62	0,00
PAPEL / PAPELÃO	2017,00	5,30	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO MACIO	3967,00	4,80	0,00	0,00	0,00
PLÁSTICO DURO	5417,00	5,10	0,00	0,00	0,00
TRAPOS	1612,00	2,40	2,40	3,08	49,60
COCO	371,00	8,40	8,40	10,77	39,95
CAPIM	1113,00	16,00	16,00	20,51	228,31
FIBRAS	884,00	16,40	16,40	21,03	185,87
TOTAL		100,20	78,00	100,00	503,73

Figura T.3: Amostra 09– Reciclagem de 100%.