
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRUNO DE FREITAS RAMOS

**INDICADORES DE QUALIDADE DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA-ES**

VITÓRIA
2007

BRUNO DE FREITAS RAMOS

**INDICADORES DE QUALIDADE DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA-ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Florindo dos Santos Braga

VITÓRIA

2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Ramos, Bruno de Freitas, 1979-
R175i Indicadores de qualidade dos resíduos da construção civil do
município de Vitória-ES / Bruno de Freitas Ramos. – 2007.
190 f. : il.

Orientador: Florindo dos Santos Braga.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,
Centro Tecnológico.

1. Indústria de construção civil - Controle de qualidade. 2. Resíduos -
Classificação. 3. Indicadores ambientais. I. Braga, Florindo dos Santos. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

BRUNO DE FREITAS RAMOS

**INDICADORES DE QUALIDADE DOS RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA-ES**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Florindo dos Santos Braga

Orientador

Departamento de Engenharia Ambiental-UFES

Prof.^a Dra. Jacqueline Rogéria Bringhenti

Examinadora Externa

Coordenadoria de Saneamento Ambiental-
CEFET-ES

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves

Examinador Interno

Departamento de Engenharia Ambiental-UFES

Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão

Examinador Convidado

Departamento de Engenharia Civil-UFES

Vitória, 13 de setembro de 2007.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe e motivo de todos os meus objetivos, Luzia Locateli de Freitas (in memoriam), que, mesmo com todas as adversidades e dificuldades, sempre esteve ao meu lado enquanto viva. Mãe, este trabalho é seu!

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, pela oportunidade de vida e por sempre estar ao meu lado.

À minha avó materna e fonte de inspiração, Maria Locateli de Freitas, pessoa sábia e notável.

Ao Prof. Dr. Florindo dos Santos Braga pela amizade, confiança e orientação do presente trabalho.

Ao amigo e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da graduação de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Prof. Dr. José Antonio Tosta dos Reis, pelos ensinamentos em metodologia científica, pelo grande incentivo para a realização deste mestrado e pelas palavras de apoio em momentos de dificuldade desta caminhada.

Aos amigos Daniel Wernersbach Muzzi e Daniella Cardoso Buzzi, pessoas importantes nas campanhas de amostragem e nas atividades de campo para a determinação da composição gravimétrica e do peso específico aparente, pois sem vocês nada disso teria acontecido. Sei o quanto vocês batalharam para a realização deste trabalho.

Ao Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia de Vitória-ES (FACITEC), pelo auxílio financeiro na caracterização ambiental e no pagamento de bolsas de iniciação científica ao graduando de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Daniel Wernersbach Muzzi.

À empresa Marca Ambiental Ltda, em especial aos engenheiros Cláudio Denicoli e Ronan de Moraes Agostini, pelo apoio financeiro e logístico para o desenvolvimento das atividades de amostragem, caracterização gravimétrica e caracterização ambiental.

Aos amigos Tarbus Coco de Paula e Luiz Carlos de Freitas, pela ajuda nos ensaios de granulometria.

Aos técnicos do Laboratório de Ensaio em Materiais de Construção (LEMAC) do Centro Tecnológico (CT) da UFES, principalmente Carlos Maria Izoton e Márcio Antônio Loss, por terem me ajudado na conclusão dos ensaios de granulometria.

Ao Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão, pela total contribuição na caracterização granulométrica e por disponibilizar as instalações e os equipamentos do LEMAC mesmo em madrugadas e finais de semana.

Aos técnicos da Usina de Triagem e Compostagem de Vitória-ES, especialmente à Mitsue Miyachiro Morigaki e Vera Vanda Jeanmonod Luz, pelos dados e informações sobre o gerenciamento do entulho em estudo.

Ao SGS Geosol Laboratórios Ltda pelo desconto concedido nas análises de caracterização ambiental.

À graduanda em Engenharia Ambiental, Glaucia de Laia Nascimento, pelo apoio na dissertação do texto e em momentos finais deste trabalho.

Aos examinadores, Prof.^a Dra. Jacqueline Rogéria Bringhenti, Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves e ao Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão, por terem aceitado de tão boa vontade o convite para compor a banca examinadora, apesar do curto tempo que tiveram para ler esta dissertação.

E a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

“Esperei com paciência pelo Senhor, e ele se inclinou para mim e ouviu o meu clamor.

Também me tirou duma cova de destruição, dum charco de lodo; pôs os meus pés sobre uma rocha, firmou os meus passos.

Pôs na minha boca um cântico novo, um hino ao nosso Deus; muitos verão isso e temerão, e confiarão no Senhor.

Bem-aventurado o homem que faz do Senhor a sua confiança, e que não atenta para os soberbos nem para os apóstatas mentirosos.

Muitas são, Senhor, Deus meu, as maravilhas que tens operado e os teus pensamentos para conosco; ninguém há que se possa comparar a ti; eu quisera anunciá-los, e manifestá-los, mas são mais do que se podem contar.

Sacrifício e oferta não desejas; abriste-me os ouvidos; holocausto e oferta de expiação pelo pecado não reclamaste.

Então disse eu: Eis aqui venho; no rolo do livro está escrito a meu respeito: Deleito-me em fazer a tua vontade, ó Deus meu; sim, a tua lei está dentro do meu coração.

Tenho proclamado boas-novas de justiça na grande congregação; eis que não retive os meus lábios;

Não ocultei dentro do meu coração a tua justiça; apregoei a tua fidelidade e a tua salvação; não escondi da grande congregação a tua benignidade e a tua verdade.

Não detenhas para comigo, Senhor a tua compaixão; a tua benignidade e a tua fidelidade sempre me guardem.

Pois males sem número me têm rodeado; as minhas iniquidades me têm alcançado, de modo que não posso ver; são mais numerosas do que os cabelos da minha cabeça, pelo que desfalece o meu coração.

Digna-te, Senhor, livra-me; Senhor, apressa-te em meu auxílio.

Sejam à uma envergonhados e confundidos os que buscam a minha vida para destruí-la; tornem atrás e confundam-se os que me desejam o mal.

Desolados sejam em razão da sua afronta os que me dizem: Ah! Ah!

Regozijem-se e alegrem-se em ti todos os que te buscam. Digam continuamente os que amam a tua salvação: Engrandecido seja o Senhor.

Eu, na verdade, sou pobre e necessitado, mas o Senhor cuida de mim. Tu és o meu auxílio e o meu libertador; não te detenhas, ó Deus meu.”

	Página
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVOS	24
Objetivo geral	25
Objetivos Específicos	25
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	27
3.1.1 Definições	27
3.1.2 Classificação quanto ao risco ao meio ambiente e a saúde pública	27
3.1.3 Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos	34
3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	38
3.2.1 A construção civil e o desenvolvimento sustentável	38
3.2.2 Materiais de construção e a geração de resíduos da construção civil	39
3.2.3 Legislação e normas	43
3.2.4 Definição e classificação	43
3.2.5 Gestão Corretiva e seus impactos negativos	45
3.2.6 Gestão Diferenciada e seus impactos positivos	49
3.2.7 Usinas de produção de agregados reciclados	51
3.2.8 Financiamento de soluções em resíduos de construção civil nas cidades	55
3.2.9 Indicadores de qualidade dos resíduos da construção civil	56

4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	62
4.2	ETAPA 01 – DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO ATUAL DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES.....	65
4.3	ETAPA 02 – CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES.....	65
4.3.1	Fase 02 – Amostragem.....	65
4.3.2	Fase 03 – Determinação de peso específico aparente...	72
4.3.3	Fase 04 – Classificação segundo a Resolução CONAMA 307/2002.....	73
4.4	ETAPA 03 – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE VITÓRIA-ES.....	78
4.4.1	Fase 05 - Obtenção de amostras.....	78
4.4.2	Fase 06 – Determinação de peso específico aparente...	79
4.4.3	Fase 07 – Classificação segundo a NBR 10.004:2004....	79
4.4.4	Fase 08 – Caracterização conforme a NBR NM 248:2001.....	83
4.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS.....	89
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
5.1	ETAPA 01 - DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO ATUAL ENTULHO DE VITÓRIA-ES.....	92
5.1.1	Identificação de fontes geradoras.....	92
5.1.2	Geração do Entulho de Vitória-ES.....	94
5.1.3	Logística de transporte e armazenamento temporário..	95
5.1.4	Disposição final.....	95
5.2	ETAPA 02 – CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES.....	95
5.2.1	Peso específico aparente.....	95
5.2.2	Classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02...	97
5.3	ETAPA 03 – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE VITÓRIA-ES.....	111
5.3.1	Peso específico aparente.....	111
5.3.2	Classificação segundo a NBR 10.004:2004.....	113

5.3.3	Caracterização conforme a NBR NM 248:2001.....	126
6	CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES.....	135
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
	ANEXO A – FORMULÁRIOS.....	144
	ANEXO B – CERTIFICADOS DE ANÁLISE – SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.....	149

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1: Limites de parâmetros inorgânicos do Anexo F da NBR 10.004:2004.....	31
Tabela 3.2: Limites máximos permitidos de parâmetros inorgânicos, surfactantes e fenóis do anexo G da NBR 10.004:2004.....	32
Tabela 3.3: Concentração de metais obtida no ensaio de lixiviação realizado por <i>Carneiro et al.</i> (2001).....	58
Tabela 3.4: Concentração de metais obtida no ensaio de solubilização realizado por <i>Carneiro et al.</i> (2001).....	59
Tabela 4.1: Identificação de amostras compostas de ENTUV-ES	71
Tabela 5.1: Geração mensal do ENTUV-ES	93
Tabela 5.2: Peso específico aparente das amostras compostas de ENTUV-ES	95
Tabela 5.3: Composição gravimétrica e classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02 das amostras compostas de ENTUV-ES .	98
Tabela 5.4: Tratamento estatístico da composição gravimétrica.....	107
Tabela 5.5: Porcentagens em peso de ENTUV-ES por classe.....	108
Tabela 5.6: Pesos específicos aparentes das amostras de AGRECV-ES	111
Tabela 5.7: Resultados das concentrações de constituintes nos extratos lixiviados das amostras de AGRECV-ES	116
Tabela 5.8: Resultados das concentrações de constituintes nos extratos solubilizados das amostras de AGRECV-ES	119
Tabela 5.9: Porcentagens retidas nas peneiras das séries normal e intermediária em cada amostra de AGRECV-ES	127
Tabela 5.10: Porcentagens retidas acumuladas nas amostras de AGRECV-ES	128
Tabela 5.11: Tratamento estatístico das porcentagens retidas acumuladas das amostras de AGRECV-ES	130
Tabela 5.12: Porcentagens de grupos de agregados reciclados por amostra de AGRECV-ES	131

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 3.1: Normas para classificação de resíduos sólidos.....	28
Quadro 3.2: Anexos da NBR 10.004:2004.....	28
Quadro 3.3: Aspectos de periculosidade apresentados na NBR 10.004:2004.....	30
Quadro 3.4: Subclasses da Classe II-Não perigosos apresentadas na NBR 10.004:2004.....	31
Quadro 3.5: Aterros de resíduos sólidos.....	38
Quadro 4.1: Programa experimental da caracterização e classificação do ENTUV-ES e do AGRECV-ES	63
Quadro 4.2: Locais de desenvolvimento das fases do programa experimental da caracterização e classificação do ENTUV-ES e do AGRECV-ES	64
Quadro 4.3: Cronograma físico do programa experimental da caracterização e classificação do ENTUV-ES e do AGRECV-ES	64
Quadro 4.4: Campanhas de amostragem do ENTUV-ES	66
Quadro 4.5: Grupos para obtenção de composição gravimétrica das amostras compostas de ENTUV-ES	74
Quadro 4.6: Identificação das amostras de AGRECV-ES	78
Quadro 4.7: Identificação das amostras finais de AGRECV-ES para a realização de ensaios para a classificação segundo a NBR 10.004:2004.....	81
Quadro 4.8: Ensaios realizados nas amostras AGRECV-ES	81
Quadro 4.9: Parâmetros analisados nos extratos obtidos na lixiviação e na solubilização.....	82
Quadro 4.10: Métodos das análises dos parâmetros previstos.....	82
Quadro 5.1: Resumo dos estudos de classificação do AGRECV-ES	125

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1: Fluxograma para a classificação de resíduos sólidos quanto aos riscos ao meio ambiente e a saúde pública.....	33
Figura 3.2: Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% em relação à massa total de RCC's).....	42
Figura 3.3: Disposição irregular de RCC's em Belo Horizonte – MG.....	46
Figura 3.4: Disposição irregular de RCC's em Ribeirão Preto – SP.....	46
Figura 3.5: Disposição irregular de RCC's em curso d'água em Campo Grande – MS.....	47
Figura 3.6: Disposição irregular de RCC's em logradouro público em Diadema – SP.....	48
Figura 3.7: Disposição irregular de RCC's em encosta em Diadema – SP.....	48
Figura 3.8: Unidade de Recebimento “Saramenha” em Belo Horizonte – MG.....	50
Figura 3.9: Britador utilizado no beneficiamento de RCC's de Classe A.....	54
Figura 3.10: Correia transportadora utilizada no beneficiamento de RCC's de Classe A.....	55
Figura 3.11: Pilha de RCC's de Classe A beneficiados.....	55
Figura 3.12: Valores médios da distribuição granulométrica dos RCC's de Salvador-BA em função da origem.....	60
Figura 4.1: Pilha de ENTUV-ES escolhida para coleta de amostras.....	67
Figura 4.2: Esquema representativo do processo de quarteamento de resíduos sólidos.....	68
Figura 4.3: Homogeneização de pilha de ENTUV-ES para posterior quarteamento.....	69
Figura 4.4: Quarteamento de pilha de ENTUV-ES depois de homogeneizada.....	69
Figura 4.5: Formação de nova pilha de ENTUV-ES após quarteamento.....	70
Figura 4.6: Formação de pilha de ENTUV-ES sobre lona plástica após o quarto quarteamento.....	71
Figura 4.7: Pesagem das amostras compostas de ENTUV-ES	73

Figura 4.8: Espalhamento de amostra de ENTUV-ES para a realização de atividades visando à obtenção de composição gravimétrica.....	75
Figura 4.9: Material retido no primeiro peneiramento de uma amostra de ENTUV-ES	76
Figura 4.10: Grupo “9.outros” - material pertencente à Classe A, passante na peneira 12,5mm e retido na peneira 4,75mm.....	76
Figura 4.11: Grupo “1.solo e areia” – material passante na peneira 4,75 mm.....	77
Figura 4.12: Mesas vibratórias utilizadas para peneiramento de amostras de AGRECV-ES	84
Figura 4.13: Peneiras manuais utilizadas para peneiramento de amostras de AGRECV-ES	84
Figura 4.14: Quarteamento manual realizado com pá.....	85
Figura 4.15: Quarteamento manual desenvolvido com colher de pedreiro.....	86
Figura 4.16: Balança eletrônica de precisão com capacidade de 1kg...	87
Figura 5.1: Estação Bota-Fora de Jardim Camburi.....	92
Figura 5.2: Ponto viciado localizado no bairro Jardim Camburi.....	93
Figura 5.3: <i>Box-plot</i> dos pesos específicos aparentes das 12 (doze) amostras compostas de ENTUV-ES	97
Figura 5.4: <i>Box-plot</i> das composições da Classe A nas 12 (doze) amostras de ENTUV-ES	104
Figura 5.5: <i>Box-plot</i> das composições da Classe B nas 12 (doze) amostras de ENTUV-ES	104
Figura 5.6: <i>Box-plot</i> das composições da Classe C nas 12 (doze) amostras de ENTUV-ES	105
Figura 5.7: <i>Box-plot</i> das composições da Classe D nas 12 (doze) amostras de ENTUV-ES	105
Figura 5.8: <i>Box-plot</i> das composições da Classe Resíduos volumosos nas 12 (doze) amostras de ENTUV-ES	106
Figura 5.9: Composição gravimétrica por classes.....	109
Figura 5.10: <i>Box-plot</i> dos pesos específicos aparentes das 12 (doze) amostras de AGRECV-ES	111
Figura 5.11: Resultados das análises de pH encontrados nas amostras de AGRECV-ES	115

Figura 5.12: Percentual de extratos solubilizados com concentrações superiores aos LMP's da NBR 10.004:2004.....	122
Figura 5.13: Proporção de amostras de AGRECV-ES inertes ou não inertes.....	123
Figura 5.14: Percentual dos parâmetros que apresentaram concentrações iguais ou inferiores ao LMP da NBR 10.004:2004 em cada amostra de AGRECV-ES	123
Figura 5.15: Curvas granulométricas das amostras de AGRECV-ES ...	129
Figura 5.16: <i>Box-plot</i> das porcentagens do grupo de agregados reciclados miúdos nas amostras de AGRECV-ES	133
Figura 5.17: <i>Box-plot</i> das porcentagens do grupo de agregados reciclados graúdos nas amostras de AGRECV-ES	133
Figura 5.18: <i>Box-plot</i> das porcentagens do grupo de agregados reciclados passíveis de britagem nas amostras de AGRECV-ES	134

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AAR – Amostra de Agregado Reciclado
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEV – Amostra composta de ENTUV-ES
AGRECV-ES – Agregado Reciclado de Vitória-ES
AM – Amostra de AGRECV-ES para ensaios de caracterização ambiental
ARIMA – Aterro para Resíduos Classe IIB-Inertes da empresa Marca Ambiental
ARG – Agregado Reciclado Graúdo
ARM – Agregado Reciclado Miúdo
ARPB – Agregado Reciclado Passível de Britagem
BA – Estado da Bahia
°C – Grau Centígrado
CA – Campanha de Amostragem
CL – Concentração letal
CL₅₀ – Concentração letal para 50% da população exposta a esta concentração
cm – centímetros (medida de comprimento)
CNPq – Conselho Nacional de Ciência e Desenvolvimento Tecnológico
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DL – Dose letal
DL₅₀ – Dose letal para 50% da população submetida a tal dosagem
DQM – Disponibilidade quantitativa mensal
ENTUV-ES – Entulho de Vitória-ES
ES – Estado do Espírito Santo
FACITEC – Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia de Vitória-ES
FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
IAC - Identificação da amostra composta de entulho da construção civil gerenciado pela Prefeitura Municipal Vitória-ES
kg – Quilograma
l – Litro
LABERSOL – Laboratório de Ensaios em Resíduos Sólidos
LDM - Limite de Detecção do Método
LEMAC – Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção

LMP – Limite Máximo Permitido
m – Metro (medida de comprimento)
m² – Metro quadrado (medida de área)
m³ – Metro cúbico (medida de volume)
MG – Estado de Minas Gerais
MS – Estado de Mato Grosso do Sul
mg – Miligrama
mm – Milímetro
NA – Não Analisado
NBR – Norma Brasileira
NM – Norma Mercosul
PAA – Peso da amostra AGRECV-ES menos o peso do recipiente de acondicionamento
PAC - Peso da amostra composta de entulho da construção civil gerenciado pela Prefeitura Municipal Vitória-ES
PDE's – Postos Geradores de Entulho
P_{eaV} - Peso específico aparente de cada amostra de AGRECV-ES
P_{eeV} – Peso específico aparente de cada amostra composta de ENTUV-ES
pH – Potencial Hidrognênico
PPAC - Percentual do peso da amostra composta em relação ao somatório dos pesos das pilhas de origem
RCC's – Resíduos da Construção Civil
SSP – Somatório dos pesos das pilhas de origem das amostras compostas de entulho da construção civil gerenciado pela Prefeitura Municipal Vitória-ES
SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*
SP – Estado de São Paulo
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UTCV – Usina de Triagem e Compostagem de Vitória-ES
USEPA – *United States Environmental Protection Agency*
VAA - Volume total da amostra de AGRECV-ES
VAC - Volume total da amostra composta de ENTUV-ES
µm – micrômetro

O setor da construção civil é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos sólidos, que são provenientes de demolições, edificações, reformas, terraplenagem, obras de pavimentação, entre outras. Estes resíduos sólidos, denominados Resíduos da Construção Civil (RCC's) e conhecidos no Brasil como entulho, quando não gerenciados adequadamente, podem afetar significativamente a qualidade ambiental urbana. Contudo, os RCC's compostos por asfalto, concreto, argamassa, cerâmica, areia e brita, quando passados por processo de beneficiamento, apresentam grande potencial para a produção de agregados reciclados. O objetivo principal deste trabalho foi obter indicadores de qualidade do entulho gerado no município de Vitória-ES e gerenciado pela administração desta municipalidade, denominado **ENTUV-ES**, buscando-se avaliar o seu potencial de uso como agregado reciclado na indústria da construção civil. Nos resultados obtidos, verificou-se que 97,90% em peso dos materiais presentes neste resíduo sólido são passíveis de reutilização ou reciclagem. No caso específico da avaliação do potencial da utilização deste resíduo sólido como agregado reciclado, denominado **AGRECV-ES**, observou-se que 79,23% do peso do **ENTUV-ES** pode possuir esta destinação. Na classificação segundo a NBR 10.004:2004, o **AGRECV-ES** foi classificado como Classe IIA (não inerte). Na caracterização segundo a NBR NM 248:2001 foi concluído que 52,61% em peso dos materiais presentes no **AGRECV-ES** necessitam de processos de britagem para serem utilizados como agregados reciclados.

ABSTRACT

The civil construction sector is responsible for the generation of great volumes of solid wastes, that are proceeding from demolitions, constructions, reforms, earthwork, pavement, among others. These solid wastes, called Civil Construction Wastes and known in Brazil as *entulho*, when not managed adequately, they can affect the urban environmental quality significantly. However, the Civil Construction Wastes constituted by asphalt, concrete, mortar, ceramics, sand and gravel, when passed through improvement process, they demonstrate great potential for recycled aggregate production. The main objective of this paper was to get indicators of quality of the Civil Construction Wastes generated in the city of Vitória-ES managed and administrated by this municipality, called **ENTUV-ES**, looking for an evaluation of potential uses as recycled aggregate in the civil construction industry. In the gotten results, it was verified that 97.90% in weight of materials present in this solid waste can be reused or recycled. In the specific case of the potential evaluation of the solid wastes use as recycled aggregate, called **AGRECV-ES**, observed that 79.23% of the weight of the **ENTUV-ES** can have this destination. In classification according to NBR 10.004:2004, the **AGRECV-ES** was classified as Class IIA (not inert). In characterization according to NBR NM 248:2001 it was concluded that 52.61% in weight of materials present in the **AGRECV-ES** need to go through size reduction processes to be used as recycled aggregates.

1. INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil possuem significativa relevância, principalmente aqueles relacionados ao consumo de recursos naturais e à geração de resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos gerados em demolições, edificações, reformas, terraplenagem, obras de pavimentação, etc., definidos por normas e legislações como Resíduos da Construção Civil (RCC's), também conhecidos como Resíduos da Construção e Demolição (RCD's) e comumente chamados de entulho, possuem grande heterogeneidade em sua composição, devido à variabilidade dos processos construtivos e de demolições.

No Brasil, os RCC's são responsáveis por uma representativa porcentagem de resíduos sólidos gerados em áreas urbanas (Resolução CONAMA 307/02), sendo que o gerenciamento inadequado dos mesmos pode acarretar uma série de problemas de deterioração da qualidade ambiental urbana, tais como a obstrução do sistema de drenagem, a poluição visual, a dificuldade de movimentação de pessoas e veículos, entre outros.

Apesar disto, na composição dos RCC's geralmente são encontrados materiais que possuem potencial de reutilização ou reciclagem como agregados, podendo estes substituir matérias-primas utilizadas no próprio setor da construção civil, como a areia e a brita, desde que passados por processos de beneficiamento. Estes materiais são classificados por legislação específica, a Resolução CONAMA 307/02, como Classe A e englobam o asfalto, o concreto, a argamassa, a cerâmica, a areia e a brita que são descartados em obras civis e demolições.

Para o gerenciamento adequado e a maximização da reutilização e da reciclagem dos RCC's, o levantamento de indicadores de qualidade destes resíduos sólidos, obtidos a partir de caracterizações, é imprescindível, devido aos grandes volumes gerados e a heterogeneidade dos mesmos (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Neste contexto, esta dissertação está fundamentada na realização de estudos de caracterização do entulho gerenciado pela Prefeitura Municipal de Vitória-ES, com o objetivo principal de identificar o potencial de uso deste resíduo sólido como agregado reciclado para a construção civil.

2. OBJETIVOS

OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Obter indicadores de qualidade a partir da caracterização do entulho do lixo urbano do Município de Vitória-ES gerenciado pela Prefeitura, identificando o seu potencial de uso como agregado reciclado na indústria da construção civil.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a composição gravimétrica e classificar, segundo a Resolução CONAMA 307/2002, o entulho gerenciado pela Prefeitura Municipal de Vitória-ES;
- Determinar os pesos específicos aparentes do entulho e do agregado reciclado;
- Classificar, conforme a NBR 10.004:2004 – “Resíduos Sólidos- Classificação, o agregado reciclado, Classe A, proveniente do entulho em estudo;
- Caracterizar o referido agregado de acordo com a NBR NM 248:2001 – “Agregados-Determinação da composição granulométrica”;
- Obter informações sobre o atual gerenciamento do entulho em questão;
- Fornecer subsídios para a implantação de uma usina de beneficiamento do agregado reciclado, a partir do levantamento de indicadores de qualidade do entulho de Vitória-ES.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1.1. Definições

Para Tchobanoglous et al (1993), os resíduos sólidos são todos os materiais gerados pelas atividades humanas que são normalmente descartados, pois são considerados como imprestáveis ou não desejáveis.

A definição mais utilizada de resíduos sólidos nos meios técnicos e acadêmicos do Brasil é a descrita na NBR 10.004:2004 – “Resíduos sólidos- Classificação”. Esta norma define resíduos sólidos, em seu subitem 3.1, como sendo os:

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

3.1.2. Classificação quanto ao risco ao meio ambiente e a saúde pública

As decisões técnicas e econômicas tomadas em todas as fases de gerenciamento dos resíduos sólidos, seja no manuseio, coleta, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem ou disposição final, devem estar embasadas nas classificações dos mesmos (ROCCA et al., 1993).

A classificação fornece subsídios ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, buscando controlar e mitigar os riscos potenciais que eles possam oferecer.

Monteiro et al. (2001) afirmam que são inúmeras as formas de se classificar os resíduos sólidos, destacando-se dentre elas a classificação quanto ao risco ao meio ambiente e a saúde pública e quanto à natureza ou origem.

Com o intuito de padronizar em todo o território nacional a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco ao meio ambiente e a saúde pública, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, no ano de 1987, um conjunto de 04 (quatro) normas (ROCCA et al., 1993).

Posteriormente, a ABNT realizou reformulações destas normas, publicando-as em 2004, sendo que as mesmas se encontram em vigor até o presente momento. No Quadro 3.1 apresentam-se as codificações, os títulos e os objetivos das referidas normas revisadas.

Quadro 3.1: Normas para classificação de resíduos sólidos

Código	Título	Objetivo
NBR 10.004	Resíduos sólidos-Classificação	Classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, de forma que sejam gerenciados de forma adequada.
NBR 10.005	Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos	Fixar os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10004 como classe I – perigosos - e classe II – não perigosos.
NBR 10.006	Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos	Fixar os requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados na ABNT NBR 10004 como classe II A - não inertes – e classe II B – inertes.
NBR 10.007	Amostragem de resíduos sólidos	Fixar os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos

A classificação, objeto principal desta coletânea de normas, está embasada nas características dos resíduos sólidos e em listagens de substâncias reconhecidamente perigosas e de padrões de concentrações de poluentes (ROCCA et al., 1993). No Quadro 3.2 apresenta-se a descrição dos anexos da NBR 10.004:2004 com seus respectivos assuntos.

Quadro 3.2: Anexos da NBR 10.004:2004

Anexo	Assunto
Anexo A	Resíduos perigosos de fontes não específicas
Anexo B	Resíduos perigosos de fontes específicas
Anexo C	Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos

Quadro 3.2: Anexos da NBR 10.004:2004 (continuação)

Anexo	Assunto
Anexo D	Substâncias agudamente tóxicas
Anexo E	Substâncias tóxicas
Anexo F	Concentração - Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação
Anexo G	Padrões para o ensaio de solubilização
Anexo H	Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos

A classificação dos resíduos sólidos está diretamente relacionada com a identificação do processo ou da atividade geradora e de seus poluentes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e de substâncias (NBR 10.004:2004).

Na caracterização de um resíduo sólido, a identificação dos poluentes presentes deve possuir embasamento técnico e ser estabelecida conforme as matérias-primas, os insumos e o processo gerador (NBR 10.004:2004).

Para efeito da NBR 10.004:2004, os resíduos sólidos são classificados em 02 (duas) classes distintas, sendo elas a Classe I-Perigosos e a Classe II-Não perigosos. A Classe II é subdivida em Classe IIA-Não inertes e Classe IIB-Inertes. Estas classes, subclasses e a metodologia de classificação de resíduos sólidos são apresentadas a seguir.

RESÍDUOS CLASSE I – PERIGOSOS

São aqueles que, devido as suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública, com probabilidade considerável para ocorrência de mortes ou de doenças, e ao meio ambiente, caso os resíduos sólidos sejam gerenciados de forma inadequada (NBR 10.004:2004).

A NBR 10.004:2004 descreve 05 (cinco) aspectos que conferem periculosidade aos resíduos sólidos, sendo eles a inflamabilidade, a corrosividade, a reatividade, a toxicidade e a patogenicidade.

No presente estudo, levando-se em consideração as características do material analisado, os aspectos que poderiam conferir periculosidade aos resíduos sólidos foram a corrosividade, a reatividade e a toxicidade, de

acordo com a NBR 10.004:2004. No Quadro 3.3 apresentam-se estes aspectos com suas respectivas características.

Quadro 3.3: Aspectos de periculosidade apresentados na NBR 10.004:2004

Aspecto	Características
Corrosividade	<ul style="list-style-type: none"> • Ser aquosa e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5, ou sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5; • Ser líquida ou, quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55 °C.
Reatividade	<ul style="list-style-type: none"> • Ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar; • Reagir violentamente com a água; • Formar misturas potencialmente explosivas com a água; • Gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando misturados com a água; • Possuir em sua constituição os íons CN^- ou S^{2-} em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de H_2S liberável por quilograma de resíduo; • Ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados; • Ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25 °C e 0,1 MPa (1 atm); • Ser explosivo, definido como uma substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou não esta substância contida em dispositivo preparado para este fim.
Toxicidade	<ul style="list-style-type: none"> • Quando o extrato obtido de uma amostra de resíduos sólido, segundo a ABNT NBR 10005:2004, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes no Anexo F da NBR 10004:2004; • Possuir uma ou mais substâncias constantes no Anexo C da NBR 10.004:2004 e apresentar toxicidade; • Ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos anexos D ou E da NBR 10.004:2004; • Resultar de derramamentos ou de produtos fora de especificação ou do prazo de validade que contenham quaisquer substâncias constantes nos anexos D ou E da NBR 10.004:2004; • Ser comprovadamente letal ao homem; • Possuir substância em concentração comprovadamente letal ao homem ou estudos do resíduo que demonstrem uma *DL₅₀ oral para ratos menor que 50 mg/kg ou **CL₅₀ inalação para ratos menor que 2 mg/L ou uma ***DL₅₀ dérmica para coelhos menor que 200 mg/kg.

Fonte: adaptação de Agostini (2002); NBR 10.004:2004.

Notas: *DL₅₀ (oral, ratos): Dose letal para 50% da população dos ratos testados, quando administrada por via oral (DL – dose letal); **CL₅₀ (inalação, ratos): Concentração de uma substância que, quando administrada por via respiratória, acarreta a morte de 50% da população de ratos exposta (CL – concentração letal); ***DL₅₀ (dérmica, coelhos): Dose letal para 50% da população de coelhos testados, quando administrada em contato com a pele (DL – dose letal).

Os limites máximos de cada constituinte inorgânico presente no extrato lixiviado para se considerar um resíduo sólido não tóxico apresentam-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Limites de parâmetros inorgânicos do Anexo F da NBR 10.004:2004

Constituinte	Limite Máximo Permitido (LMP) no extrato lixiviado para se considerar não tóxico um resíduo sólido (mg/l)
Arsênio	1,0
Bário	70,0
Cádmio	0,5
Chumbo	1,0
Cromo total	5,0
Fluoreto	150,0*
Mercúrio	0,1
Prata	5,0**
Selênio	1,0

Notas: * Parâmetro e limite máximo no lixiviado mantido, extraído da versão anterior da NBR 10.004:1987; **Parâmetros e limites máximos apresentados na NBR 10.004:2004 extraídos da USEPA – 40 CRF – Part 261 – 24 – “Toxicity Characteristics”.

RESÍDUOS CLASSE II – NÃO PERIGOSOS

São os resíduos sólidos que não possuem aspectos de corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade ou toxicidade. No Quadro 3.4 apresentam-se as subclasses da Classe II-Não perigosos com as devidas definições da NBR 10.004:2004.

Quadro 3.4: Subclasses da Classe II-Não perigosos apresentadas na NBR 10.004:2004

Classe	Definição
IIA-Não Inertes	Resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I-Perigosos ou Classe IIB-Inertes. Os Resíduos Classe IIA podem possuir características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (NBR 10.004:2004).
IIB-Inertes	Resíduos sólidos que não apresentam características de biodegradabilidade, combustibilidade ou quando amostrados de forma representativa, conforme a NBR 10.007:2004, e passados por processo de solubilização, de acordo com a NBR 10.006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões apresentados no Anexo G da NBR 10.004:2004 (adaptado da NBR 10.004:2004).

As concentrações máximas de poluentes inorgânicos, surfactantes e fenóis encontrados no extrato solubilizado para se considerar um resíduo sólido como não solúvel em água são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Limites máximos permitidos de parâmetros inorgânicos, surfactantes e fenóis do anexo G da NBR 10.004:2004

Constituinte	Limite Mínimo Permitido (LMP) no extrato solubilizado para se considerar inerte um resíduo sólido (mg/l)
Alumínio	0,2
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cianeto	0,07
Cloreto	250
Cobre	2,0
Cromo total	0,05
Fenóis totais	0,01
Ferro	0,3
Fluoretos	1,5
Manganês	0,1
Mercúrio	0,001
Nitrato	10,0
Prata	0,05
Selênio	0,01
Sódio	200
Sulfato	250
Surfactantes	0,5
Zinco	5,0

METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DA NBR 10.004:2004

A Figura 3.1 apresenta um fluxograma da metodologia de classificação quanto aos riscos ao meio ambiente e a saúde pública apresentada na NBR 10.004:2004.

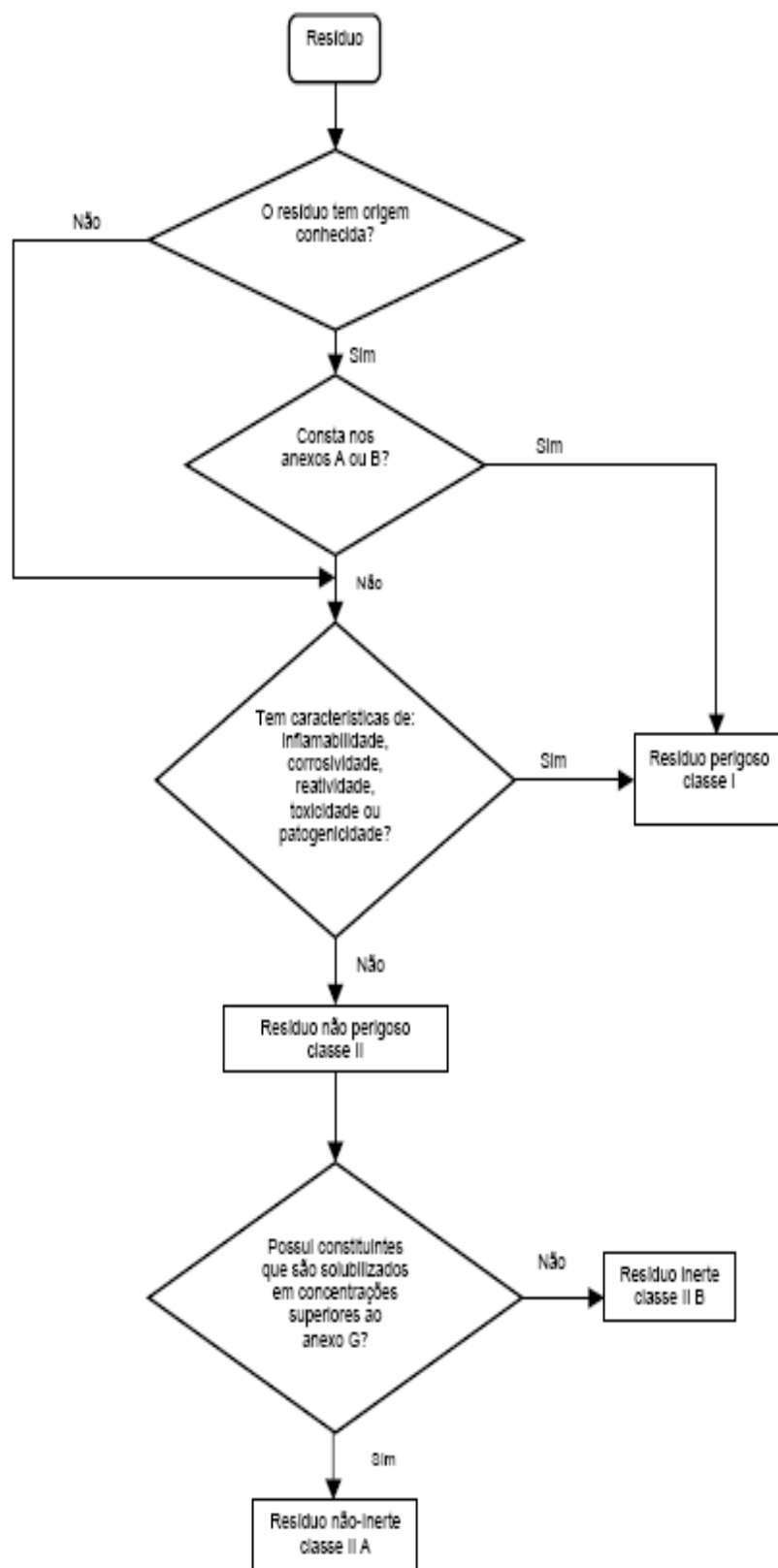


Figura 3.1: Fluxograma para a classificação de resíduos sólidos quanto aos riscos ao meio ambiente e a saúde pública
Fonte: NBR 10.004:2004

Nota-se neste fluxograma que a metodologia para a classificação começa pelo conhecimento da origem dos resíduos sólidos e, em seguida, procura-nos anexos A e B da NBR 10.004:2004. Caso o resíduo sólido esteja nas listagens destes anexos ele já pode ser considerado como perigoso.

O resíduo sólido não estando nas listagens dos anexos A ou B da NBR 10.004:2004, parte-se para a verificação da ocorrência das substâncias listadas nos anexos C, D e E em sua composição. O resíduo sólido não possuindo nenhuma destas substâncias em sua composição, avalia-se então sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Estas características podem ser avaliadas a partir das características do produto que deu origem ao resíduo sólido, por meio de informações contidas em embalagens, processos produtivos, etc ou então por testes e análises listadas na NBR 10.004:2004.

Se o resíduo sólido não possuir nenhuma das características listadas nos dois últimos parágrafos, ele é considerado não perigoso. A partir da caracterização do resíduo sólido como não perigoso, começa-se a classificação do mesmo como inerte ou não inerte. Verifica-se então se o resíduo sólido possui características de combustibilidade e biodegradabilidade. O resíduo sólido não possuindo nenhuma destas características, então é realizado ensaio de solubilização e comparação dos resultados obtidos nas análises deste extrato com os padrões apresentados no anexo G da NBR 10.004:2004.

3.1.3. Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos

De acordo com *Phillipi Jr. (2005)*, existe uma série de operações sistematizadas pelas quais os resíduos sólidos, independentemente de suas origens, devem passar para que os mesmos tenham manejo e destinação ambiental e sanitária seguras, tais como minimização de resíduos, coleta, transporte, acondicionamento, armazenamento, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final.

Descrições das etapas do gerenciamento de resíduos sólidos são apresentadas a seguir e tomaram como base as proposições apresentadas por

Rocca et al. (1993), Teixeira & Bidone (1999), CNUMAD (1992), Monteiro et al. (2001), Grecco & Macedo (2005) e FNS (2005).

MINIMIZAÇÃO, RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO

A minimização da geração de resíduos sólidos trata-se de uma etapa importante do gerenciamento, baseando-se no desenvolvimento e adoção de técnicas e metodologias que possibilitam a redução da geração ou da periculosidade, com conseqüente diminuição de sua carga poluidora. A prevenção da geração de Resíduos Classe I-Perigosos e a utilização de alternativas de destinação que não sejam a disposição final no solo se destacam-se como objetivos da minimização dos resíduos sólidos (ROCCA et al., 1993).

O desenvolvimento e aplicação de práticas que estimulam a minimização, a reutilização e a reciclagem, num ponto de vista de sustentabilidade, devem se configurar nas principais ações do gerenciamento de um resíduo sólido (CNUMAD, 1992). A política dos 4R's (repensar, reduzir, reutilizar e reciclar) possui estes princípios como base.

A redução ou eliminação da geração de resíduos sólidos está ligada a 03 (três) estratégias que são listadas a seguir (ROCCA et al., 1993):

- **Alterações de matérias-primas:** obtidas com a substituição e purificação de matérias-primas;
- **Alterações de tecnologia:** conseguidas com mudanças no processo produtivo, no arranjo de equipamentos e nas condições operacionais, com implantação de tecnologias automatizadas e com a redução no consumo de água e energia;
- **Mudanças de procedimento e práticas operacionais:** com a prevenção de perdas, no treinamento do pessoal e na segregação na fonte.

A reutilização trata-se do aproveitamento do resíduo sólido nas condições em que foi descartado, submetendo-o a pouco ou nenhum beneficiamento

(TEIXEIRA & BIDONE, 1999). Como exemplo, tem-se a reutilização de papéis, na qual os versos de folhas com erros de impressão são utilizadas para rascunho.

A reciclagem consiste em um processo, artesanal ou industrial, em que os resíduos sólidos retornam à cadeia produtiva como matéria prima ou produto (TEIXEIRA & BIDONE, 1999). Seus benefícios consistem na redução do consumo de recursos naturais e da quantidade de resíduos sólidos a serem dispostos no ambiente, ocasionando a diminuição da poluição e a geração de renda para a sociedade (GRECCO & MACEDO, 2005). A reciclagem não deve substituir a redução ou reutilização dos resíduos sólidos, que possuem prioridade no gerenciamento adequado.

ACONDICIONAMENTO, COLETA, ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE

A coleta consiste no conjunto de operações de remoção dos resíduos sólidos das fontes geradoras para encaminhá-los aos locais de transferência, tratamento, disposição final, etc., com auxílio de veículos adequados, de forma que se evitem espalhamento e vazamento dos mesmos (MONTEIRO et al., 2001).

A função do acondicionamento de resíduos sólidos é prepará-los para a coleta de forma sanitária e ambientalmente adequada. Deve ser realizada de maneira compatível com o tipo e a quantidade de resíduo sólido e possui importância para se evitar acidentes e proliferação de vetores, para a minimização de impactos visuais e olfativos e para facilitação da etapa de coleta (MONTEIRO et al., 2001). Alguns tipos de acondicionamento são apresentados por FNS (2004), sendo eles: os recipientes metálicos ou plásticos, os sacos plásticos e as caixas estacionárias (caixas *brook*).

A NBR 12.235:1992 – “Armazenamento de resíduos sólidos perigosos” define armazenamento de resíduos sólidos como sendo a contenção temporária, em área licenciada pelo órgão de controle ambiental competente, à espera de reciclagem, recuperação, tratamento ou disposição final adequada.

A concepção das áreas de armazenamento de resíduos sólidos depende de suas características e classificações quanto aos riscos ao meio ambiente e a

saúde pública. Os Resíduos Classe I-Perigosos devem ser armazenados de acordo com a NBR 12.235:1992 – “Armazenamento de resíduos sólidos perigosos” e os Resíduos Classe II-Não perigosos conforme as diretrizes da NBR 11.174:1990 – “Armazenamento de resíduos classe II-não inertes e III-inertes”.

Segundo *Bidone & Povinelli (1999)*, *apud Grecco & Macedo (2005)*, o tipo de transporte de resíduo sólido mais utilizado no país e no mundo é o rodoviário, pois se trata da forma mais segura e barata quando comparada às modalidades aérea, ferroviária e hidroviária. O transporte rodoviário de resíduos sólidos possui vantagens como o baixo custo para pequenas quantidades e distâncias, a independência de sistemas de transbordo (transferência de veículos) e o fácil acesso aos pontos de geração e de descarga.

Os tipos de veículos mais comumente utilizados no transporte rodoviário de resíduos sólidos são os caminhões basculantes, os caminhões compactadores e os caminhões poliguindastes (FNS, 2004). Os caminhões basculantes são aqueles utilizados para transporte de materiais granulares, sendo que o descarregamento dos mesmos é feito de forma mecânica sem a ação do homem. Os caminhões compactadores possuem dispositivos hidráulicos que auxiliam na redução de volume dos resíduos sólidos. Já os caminhões poliguindastes são dotados de guindaste e transportam caixas *brook*.

TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

O tratamento dos resíduos sólidos pode ser entendido como um conjunto de metodologias e procedimentos que buscam a redução de sua quantidade ou de seu potencial poluidor, com sua transformação em material inerte ou em biologicamente estável (MONTEIRO et al., 2001).

Rocca et al (1993) apresentam alguns tipos de tratamento, sendo estes a secagem e desidratação, a estabilização, a solidificação, o *landfarming*, a incineração, a oxidação, a redução e a neutralização.

Dentre as disposições finais de resíduos sólidos, destacam-se os Aterros para Resíduos Classe I-Perigosos, para Resíduos Classe IIA-Não Inertes e Resíduos Classe IIB-Inertes. No Quadro 3.5 apresentam-se os tipos de aterros, as normas ABNT que os regem e seus sistemas de controle ambiental.

Quadro 3.5: Aterros de resíduos sólidos

Aterro	Sistemas de controle ambiental			Norma ABNT
	Impermeabilização de fundo	Percolados	Intempéries	
Classe I	Camada impermeabilizante dupla.	Drenagem e tratamento.	Cobertura sobre o aterro	NBR 10.157:1987 – “Aterros de resíduos perigosos-Critérios para projeto, construção e operação”
Classe IIA	Única camada impermeabilizante.	Drenagem e tratamento.	Sem cobertura sobre o aterro	NBR 13.896:1997 – “Aterros de resíduos não perigosos-Critérios para projeto, implantação e operação”
Classe IIB	Sem sistema de impermeabilização.	Sem drenagem e tratamento.	Sem cobertura e tratamento	NBR 15.113:2004 – “Resíduos sólidos da construção civil – Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação”

Nota-se no Quadro 3.8 que os sistemas de controle ambiental dos aterros dependem diretamente da classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente. A complexidade dos sistemas de controle ambiental de aterros de resíduos sólidos está ligada à periculosidade que os mesmos apresentam.

3.2. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.2.1. A construção civil e o desenvolvimento sustentável

Caso a construção civil não passe por intensas modificações, as sociedades não poderão atingir o desenvolvimento sustentável, pois este setor da economia fornece suporte às todas as organizações humanas (CARNEIRO et al., 2001).

Responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais (USP, 2003) e com participação em 5,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país no ano de

2006 (CBIC, 2008), o setor da construção civil trata-se de um potencial gerador de problemas ambientais, tais como resíduos sólidos (RS's), poeira e ruídos.

Também conhecida como *construbusiness*, a cadeia produtiva da construção civil ocasiona importantes e inúmeros impactos ambientais e socioeconômicos, sejam eles positivos ou negativos (CARNEIRO et al., 2001).

Nas etapas dos processos construtivos são extraídos recursos naturais para o fornecimento de matérias primas e gerados empregos e renda, resíduos sólidos, emissões atmosféricas e poluição sonora.

Uma sociedade preocupada com a minimização de problemas ambientais em seu meio deve estar preocupada, prioritariamente, com aperfeiçoamento da construção civil (JOHN, 2003), seja com qualificação de recursos humanos, com melhoria de processos e tecnologias construtivas ou com a redução da utilização de recursos naturais.

Observa que a mitigação dos impactos ambientais gerados pela construção civil, em termos gerais, trata-se de uma tarefa complexa. Para que esta mitigação ocorra, algumas ações tornam-se necessárias, dentre elas destacam-se a minimização do consumo e a maximização da reutilização dos recursos, a utilização de recursos renováveis ou recicláveis, a proteção do meio ambiente, a criação de ambientes saudáveis e não tóxicos e a busca da qualidade na concepção do ambiente construído (KILBERT, 1995 apud JOHN, 2003).

Neste contexto, a escolha de materiais de construção deixa de ser realizada apenas tomando-se como base os critérios estéticos, mecânicos e econômicos, estando condicionada também com as questões de contaminação do ambiente interno de uma edificação, dos possíveis impactos ambientais da sua disposição enquanto resíduo sólido e das possibilidades de sua reutilização ou reciclagem (CARNEIRO et al., 2001).

3.2.2. Materiais de construção e a geração de resíduos da construção civil

Basicamente, os materiais comumente utilizados em construções civis são os seguintes (PETRUCCI, 1982):

- **Agregados:** material em forma granular, sendo ele natural ou artificial e dividido em partículas de forma e tamanho uniformes, cuja função é atuar como agente de resistência nas argamassas e nos concretos. Os agregados podem ser miúdos, compostos por partículas variando entre 150µm e 4,75mm, ou graúdos, com dimensões maiores que 4,75mm e menores que 75mm (NBR 7.211: 2005 - "Agregados para concreto-Especificação). Exemplos de agregados miúdos são as areias e o pó de pedra e dos agregados graúdos são os seixos rolados, as pedras britadas, etc;
- **Materiais betuminosos:** são materiais compostos essencialmente de betume, abrangendo os asfaltos e os alcatrões. O betume trata-se de um produto de natureza orgânica, composto de uma mistura de hidrocarbonetos e freqüentemente acompanhados de seus derivados;
- **Materiais cerâmicos:** constituinte de telhas, tijolos, pisos, vasos sanitários, pias, etc. Dois grandes grupos formam os materiais cerâmicos, sendo eles o grupo de cerâmica vermelha e o grupo de cerâmica branca. A cerâmica vermelha está presente em telhas, tijolos e pisos e a cerâmica branca em vasos sanitários, pias, etc.;
- **Madeira:** provavelmente o mais antigo material de construção utilizado pelo homem, a madeira é utilizada em escoramentos e fôrmas de estruturas de concreto, nas vedações residenciais, em andaimes, na confecção de esquadrias (janelas, portas, etc), em gabaritos e tapumes de obras, etc;
- **Metais:** do ponto de vista tecnológico, os metais são elementos químicos que existe como cristal ou agregado de cristal, no estado sólido, que possui características de alta dureza, grande resistência mecânica, elevada plasticidade e considerável condutibilidade térmica e elétrica. Em uma obra, vários são os fins para os metais, destacando-se os usos em estruturas metálicas, em esquadrias, em fios elétricos, em

andaimes, em formas para concreto, na composição no concreto armado, etc;

- **Aglomerantes:** utilizado para a junção de elementos, tais como o cimento, a cal, os gessos, as pozolanas, etc;
- **Concreto:** material constituído por uma mistura homogênea de aglomerante, agregados miúdos e graúdos e água;
- **Argamassa:** material formado pela mistura íntima de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água;
- **Cimento-amianto:** material pertencente à categoria dos fibro-cimentos, dos quais um importante elemento é a madeira aglomerada, sendo composto basicamente por cimento e amianto;
- **Tinta e verniz:** quaisquer materiais de revestimento que sejam líquidos ou pastosos e que estejam aptos a cobrir, proteger e colorir a superfície de um objeto;
- **Vidro:** solução sólida de silicatos alcalino-terrosos em silicatos alcalinos simples e mais fusíveis. Utilizado em esquadrias, divisões diversas, lâmpadas, etc;
- **Plástico:** pode ser entendido como um material deformável e capaz de ser moldado nas mais diversas formas por deformação plástica. Em obras, os plásticos são utilizados em forro de tetos e equipamentos residenciais diversos;
- **Borracha:** material de origem vegetal ou sintética, que possui propriedades de elasticidade excepcionais.

A composição dos Resíduos da Construção Civil (RCC's) está amplamente ligada às tecnologias e tipos de materiais de construção utilizados, sendo importante se conhecer os processos construtivos para caracterização adequada dos RCC's.

Para *Azevedo et al.* (2006), a geração de resíduos sólidos na construção civil acontece em diferentes fases do ciclo de vida do empreendimento, seja na construção, na manutenção e reforma ou na demolição.

John & Agopyan (2003) descrevem que os resíduos sólidos gerados durante a fase de construção é devido às perdas nos processos construtivos. Para os autores, parte das perdas continuam incorporadas, como o caso das argamassas de revestimento e dos concretos, e parte se converte em RCC's.

Na fase de manutenção e reforma, a geração de RCC's está associada à correção de patologias, às reformas ou modernização da edificação ou de partes da mesma, que em muitas ocasiões exigem demolições parciais, e no descarte de estruturas e equipamentos que tenham se degradado e concluído sua vida útil (JOHN & AGOPYAN, 2003).

Já na fase de demolição, a geração e o aproveitamento dos resíduos sólidos dependem da vida útil dos edifícios e seus componentes, de incentivos para a realização de modernizações e da tecnologia de projeto que permitam a reutilização dos componentes. Na Figura 3.2 são apresentadas proporções de geração de RCC's em cidades brasileiras nas diferentes fases do empreendimento (JOHN & AGOPYAN, 2003).

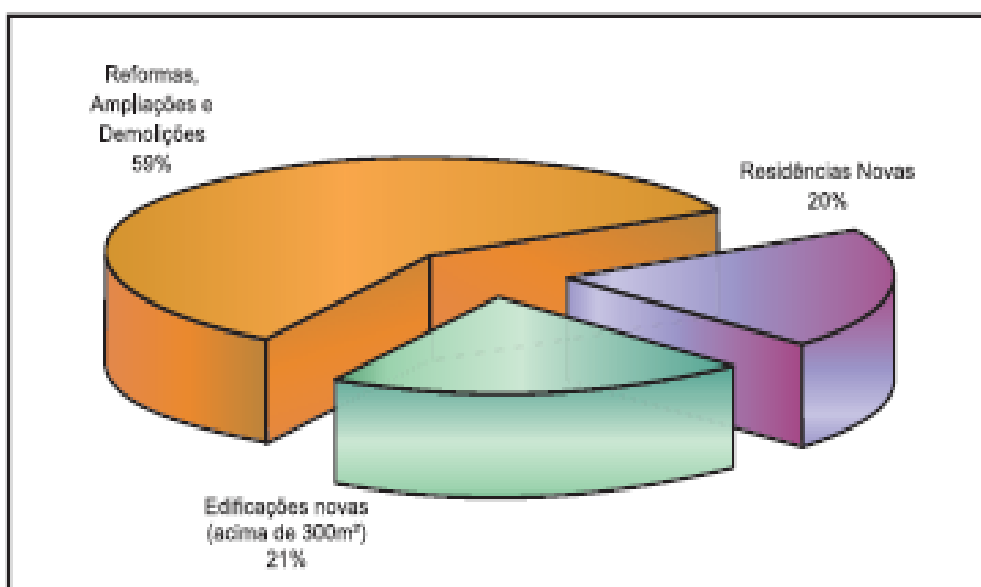


Figura 3.2: Origem do RCC em algumas cidades brasileiras (% em relação à massa total de RCC's)

Fonte: Pinto & Gonzáles (2005)

Destaca-se que grande parte dos resíduos sólidos gerados em cidades brasileiras é composta por RCC's. Esta fração varia de 54 a 67% de RCC's em relação ao peso total dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) coletados em

algumas cidades do Brasil, contribuindo significativamente no orçamento disponibilizado para a limpeza pública destes municípios (PINTO, 1999).

3.2.3. Legislação e normas

O CONAMA, por meio da Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002, estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão adequada dos RCC's, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Ainda, na Resolução CONAMA 307/2002, encontram-se descritas diretrizes bem claras para a criação de leis municipais a cerca do assunto do gerenciamento do RCC's, abrangendo os temas de sua gestão sustentável, do programa municipal de seu gerenciamento, dos projetos de seu gerenciamento, das responsabilidades, das disciplinas dos geradores, transportadores e receptores, da sua destinação, de sua fiscalização e de penalidades.

Buscando dar suporte a esta resolução, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou um conjunto de normas que são listadas a seguir:

- **NBR 15.112/2004:** *Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;*
- **NBR 15.113/2004:** *Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;*
- **NBR 15.114/2004:** *Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;*
- **NBR 15.115/2004:** *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;*

- **NBR 15.116/2004:** *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.*

3.2.4. Definição e classificação

A Resolução CONAMA 357/02 define RCC's como sendo os resíduos sólidos:

“provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

Os RCC's são classificados pela Resolução CONAMA 307/02 da seguinte maneira:

I. Classe A – são aqueles passíveis de reutilização ou reciclagem como agregados, tais como:

- a) de construção, reformas, reparos e demolição de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, incluindo os solos gerados em atividades de terraplenagem;
- b) de construção, reformas, reparos e demolição de edificações, tais como os componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, como os blocos, tubos, meios-fios etc.;

II. Classe B – são os resíduos recicláveis para destinações que não sejam o aproveitamento como agregados, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III. Classe C – são os resíduos nos quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, como, por exemplo, os produtos à base de gesso;

IV. Classe D – são os perigosos gerados no processo de construção, dentre os quais se destacam as tintas, os solventes, óleos minerais e outros e aqueles contaminados provenientes de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

3.2.5. Gestão Corretiva e seus impactos negativos

Igualmente à sua geração, outro grande problema ocasionado pelos RCC's é a sua disposição inadequada, em locais públicos e terrenos baldios. Esta prática incentiva a criação de pontos de “lixão”, trazendo impactos ambientais negativos e custos adicionais às administrações municipais, que acabam se responsabilizando, em muitas ocasiões, pela remoção, transporte e disposição dos RCC's gerados na cidade (AZEVEDO et. al, 2006).

Nesta gestão, as ações de gerenciamento dos RCC's são tomadas após sua disposição inadequada, configurando-se numa *Gestão Corretiva* destes resíduos sólidos, com a utilização de equipamentos diversos, tais como pás-carregadeira e caminhões basculantes.

Para *Pinto* (2001), a *Gestão Corretiva* engloba atividades não preventivas, repetitivas e custosas, que não trazem resultados adequados e são extremamente ineficientes, configurando-se na “inevitabilidade” de áreas com disposição irregular de RCC's e, conseqüentemente, na degradação do ambiente urbano, se sustentando na existência de locais de aterramento nas proximidades das regiões geradoras.

Esta *Gestão Corretiva* de RCC's se tornou uma prática consolidada em quase todas as grandes cidades brasileiras, que contempla empresas, contratadas pela prefeitura municipal, para o recolhimento dos RCC's dispostos irregularmente (JOHN & AGOPYAN, 2003).

Na *Gestão Corretiva*, algumas prefeituras municipais, na tentativa de inibir a disposição irregular de RCC's, adotam uma política que consiste na implantação de placas, que demonstram legislações associadas à proibição desta prática, em áreas, conhecidas como “pontos viciados” pela limpeza urbana, pois rotineiramente resíduos sólidos são ali depositados. Devido à ineficácia da fiscalização municipal, esta metodologia de controle de disposição

irregular de RCC's se mostra bastante ineficiente. Na Figura 3.3 apresenta-se uma disposição irregular de RCC's em Belo Horizonte - MG.



Figura 3.3: Disposição irregular de RCC's em Belo Horizonte - MG
Fonte: *Pinto* (1999)

Na Figura 3.4 apresenta-se a disposição irregular de RCC's em Ribeirão Preto.- SP.



Figura 3.4: Disposição irregular de RCC's em Ribeirão Preto - SP
Fonte: *Pinto* (1999)

Segundo *John & Agopyan (2003)*, os RCC's de Classe A são rotineiramente classificados como Classe IIB (inertes), de acordo com os critérios da NBR 10004:2004. Contudo, os autores acreditam que os RCC's, em sua grande maioria, se submetidos a análises de inerticidade, seriam classificados como Classe IIA (não inertes), sendo que estes podem trazer riscos ao meio ambiente e à saúde pública quando dispostos inadequadamente.

Os RCC's, quando dispostos inadequadamente, podem causar enchentes, proliferação de vetores de doença, interdição parcial de ruas e avenidas, instabilidade de encostas e degradação do ambiente urbano com a eliminação progressiva de áreas naturais, tais como várzeas, vales, mangues e outras regiões de baixada.

Em muitas ocasiões os RCC's são aceitos por proprietários de móveis para a sua utilização como aterro, comumente sem acompanhamento técnico do processo. Esta prática pode trazer problemas futuros de poluição ambiental e nas construções executadas sobre estes aterros.

Na Figura 3.5 apresenta-se uma área de disposição irregular de RCC's localizada em um curso d'água em Campo Grande - MS. Já na Figura 3.6 apresenta-se a disposição irregular de RCC's em uma rua da cidade de Diadema - SP, prejudicando a movimentação de veículos e pessoas.



Figura 3.5: Disposição irregular de RCC's em curso d'água em Campo Grande – MS

Fonte: *Pinto (1999)*



Figura 3.6: Disposição irregular de RCC's em logradouro público em Diadema - SP
Fonte: *Pinto* (1999)

A disposição de RCC's em encostas pode trazer problemas de instabilidades nos taludes e conseqüente desprendimento de solos e rochas. Dependendo da ocupação urbana no local, os solos e rochas desprendidas podem atingir edificações, veículos ou pessoas. Ademais, essa disposição irregular dificulta a coleta dos RCC's ali depositados. Na figura 3.7 apresenta-se uma disposição irregular de RCC's em uma encosta em Diadema – SP.



Figura 3.7: Disposição irregular de RCC's em encosta em Diadema - SP
Fonte: *Pinto & Gonzáles* (2005)

3.2.6. Gestão Diferenciada e seus impactos positivos

Diferente desta *Gestão Corretiva* realizada em municípios brasileiros, a *Gestão Diferenciada* de RCC's baseia-se na prevenção e redução, na facilitação de entrega destes resíduos sólidos, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis e na coleta e disposição adequadas (PINTO, 1999).

A *Gestão Diferenciada* de RCC's pode contribuir para a minimização dos custos que as prefeituras municipais possuem com a limpeza pública e para o aproveitamento destes resíduos sólidos na construção, reforma e manutenção de vias e de locais públicos e em blocos de concreto sem função estrutural.

De acordo com *Carneiro et. al* (2001), a *Gestão Diferenciada* dos RCC's é composta por um conjunto de ações que visam a:

- **Máxima captação dos RCC's gerados**, que é obtida por meio da implementação de áreas de atração, diferenciadas para pequenos e grandes geradores;
- **Reciclagem ou reutilização dos RCC's captados** em áreas escolhidas para estas finalidades;
- **Alteração de procedimentos e culturas**, levando em conta fatores como à quantidade gerada, à correção da coleta e da disposição inadequada e às possíveis formas de aproveitamento dos RCC's.

A *Gestão Diferenciada* dos RCC's se baseia em 04 (quatro) diretrizes básicas descritos a seguir (PINTO, 1999):

- a) Facilitação total da disposição dos RCC's:** a *Gestão Corretiva*, comumente realizada nos municípios, consiste em um sistema de coleta "às avessas", no qual geradores e coletores de pequenos volumes, em muitas ocasiões, definem os locais de disposição dos RCC's, escolhendo áreas, que os mesmos entendem, que sejam de maior facilidade para este fim. A facilitação da disposição é realizada por meio da oferta, mais abrangente possível, de áreas de pequeno e de médio porte para o recebimento de RCC's e de outros materiais

comumente descartados em conjunto, não sendo permitidos os resíduos sólidos domiciliares, os sépticos e os industriais. A Figura 3.8 apresenta uma vista parcial de uma unidade de recebimento de RCC's localizada em Belo Horizonte - MG;



Figura 3.8: Unidade de Recebimento “Saramenha” em Belo Horizonte - MG

Fonte: Pinto (1999)

- b) Segregação na captação:** a separação integral dos RCC's captados trata-se de um aspecto importante para a manutenção de uma gestão racional, para a alteração da destinação adotada atualmente e para a introdução de técnicas de reciclagem e reutilização;
- c) Alteração da destinação:** a atração de grandes volumes captados, em áreas onde esteja estruturada a reciclagem, permite eficácia de tais áreas, substituindo a solução dos “bota-foras” irregulares por Centrais de Reciclagem e Reutilização de RCC's. O processamento dos RCC's nestas centrais deve ser simplificado, com fluxo de processamento incluindo a seleção, a descontaminação, a trituração (com possível classificação) e expedição.
- d) Outros aspectos:** As três ações descritas anteriormente devem ser realizadas de forma integrada. Além destas ações, torna-se necessária

a extensão desta integração para ações que buscam alterar a cultura dos colaboradores nos processos que não podem ser sustentáveis. O ideal seria que a introdução da Gestão Diferenciada seja acompanhada de informação e educação ambiental.

3.2.7. Usinas de produção de agregados reciclados

Para Leite (2001), a reutilização de resíduos sólidos, depois de sua minimização, sem a necessidade de qualquer forma de beneficiamento seria uma solução que poderia ser considerada como ideal. Contudo, a autora observa que a solução ideal nem sempre é possível, tendo em vista a necessidade de resolução da enorme quantidade de resíduos sólidos gerada, da demanda crescente de matéria prima e dos problemas encontrados no gerenciamento. Desta forma, a adoção da reciclagem configura-se numa segunda opção, onde os resíduos sólidos passam por processos de beneficiamento para que possam ser utilizados.

O beneficiamento dos RCC's de Classe A envolve desde a coleta e transporte, passando por separação, britagem e peneiramento, e chegando até a estocagem. Basicamente, o beneficiamento RCC's não difere muito da metodologia de produção de agregados naturais. Com isso, muitos dos equipamentos utilizados para a produção de agregados naturais se adequam perfeitamente à produção de agregados reciclados (LEITE, 2001).

Na seleção dos equipamentos e na operação do sistema de reciclagem deve ser levado em conta as características iniciais do RCC's e o grau necessário de seu processamento que é determinado pela utilização a ser dada ao agregado reciclado (CARNEIRO et al., 2001).

Leite (2001) descreve uma classificação dos sistemas de reciclagem de RCC's em função dos critérios e do rigor usados na eliminação dos contaminantes, como mostrado a seguir:

- **Plantas de Primeira Geração:** nelas são necessários elementos de eliminação de metais;

- **Plantas de Segunda Geração:** são semelhantes às de primeira geração, diferenciando-as na existência de sistemas mecânicos ou manuais de eliminação de contaminantes;
- **Plantas de Terceira Geração:** promovem a remoção praticamente que integral dos materiais contaminantes dos agregados reciclados, sendo eles os não pertencentes à Classe A.

A necessidade de gerar produtos homogêneos e de características adequadas, a partir de resíduos sólidos de origem diversificada e de composição heterogênea, trata-se de uma das principais condições para que o processo de reciclagem seja bem sucedido.

A reciclagem dos RCC's de Classe A tem sua viabilidade potencializada quando os materiais presentes nestes resíduos sólidos são segregados. Recomenda-se a segregação de elementos como vidro, madeira, metais e papelão dos RCC's de Classe A, sendo o processo relativamente simples e consolidado para a reciclagem (CARNEIRO et al., 2001).

Em uma usina de produção de agregados reciclados, a emissão de material particulado e a geração de ruídos devem ser controladas. Segundo *Carneiro et al.* (2001) a geração de ruídos e a distância dos centros urbanos são fatores que deverão se levados em conta na determinação do locais de implantação destas usinas.

Na concepção de usinas de produção de agregados reciclados deve-se considerar, dentre outras coisas, a capacidade operacional dos equipamentos a serem escolhidos em meio a uma infinidade de tipos disponíveis no mercado (LEITE, 2001).

De acordo com *Brito Filho* (1999), *apud Leite* (2001), na implantação de usinas de agregados reciclados é fundamental se ter em mente três conceitos, sendo eles: **a)** o volume de geração de RCC's de Classe A passíveis de ser reciclados, **b)** o tipo de material gerado e a aplicação que se pretende para o mesmo e **c)** o local da unidade de beneficiamento.

Sendo assim, para a concepção de uma usina de produção de agregados reciclados, torna-se necessário a caracterização dos RCC's, englobando assuntos como as estimativas de geração, o peso específico aparente, a composição gravimétrica a classificação quanto aos riscos ao meio ambiente e a saúde pública, e a análise granulométrica.

As usinas de produção de agregados reciclados devem seguir os critérios estabelecidos na NBR 15.112:2004 – “Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação” e na NBR 15.114:2004 – “Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação”.

Para a produção de agregados reciclados são realizadas algumas operações unitárias, sem a transformação química dos resíduos sólidos. Em geral, estas operações unitárias consistem na recepção, na extração de metais, no peneiramento, no transporte, na britagem e na estocagem do material.

A seguir serão apresentadas descrições sobre as operações unitárias e os equipamentos adotados comumente para o beneficiamento de RCC's de Classe A. Detalhes destas operações unitárias e destes equipamentos encontram-se descritos em *Leite* (2001).

RECEPÇÃO

Para recepção dos RCC's de Classe A geralmente são utilizados silos do tipo calha vibratória.

PENEIRAMENTO

As peneiras são utilizadas para separar, por meio de processo físico, materiais de menor tamanho dos materiais de maior tamanho. Dependendo da granulometria dos RCC's de Classe A os mesmos são submetidos a processo posterior de britagem.

BRITAGEM

De acordo com a granulometria dos RCC's de Classe A, os mesmos são encaminhados para britadores. Os britadores utilizados em usinas de beneficiamento de RCC's de Classe A para a produção de agregados reciclados necessitam de atenção especial, pois estes equipamentos são determinantes da maior parte das propriedades dos agregados obtidos.

Os britadores mais utilizados são o de impacto, o de mandíbula, os moinhos de martelos, os cones de britagem e o moinho e argamassadeira. Na Figura 3.9 apresenta-se um britador utilizado no beneficiamento de RCC's de Classe A.



Figura 3.9: Britador utilizado no beneficiamento de RCC's de Classe A

Fonte: arquivo técnico da empresa Marca Ambiental

TRANSPORTE

Para o transporte dos RCC's aos britadores são utilizados equipamentos de grande porte, tais como as pás-carregadeiras.

Depois de britados e peneirados os RCC's de Classe A são encaminhados, geralmente, para um local de armazenamento por meio de correias transportadoras. Na Figura 3.10 apresenta-se uma correia transportadora de RCC's beneficiados.



Figura 3.10: Correia transportadora utilizada no beneficiamento de RCC's de Classe A
Fonte: arquivo técnico da empresa Marca Ambiental

ARMAZENAMENTO

Depois de beneficiados, os RCC's necessitam ser armazenados para posterior utilização. Na Figura 3.11 apresenta-se uma pilha de RCC's já beneficiado.



Figura 3.11: Pilha de RCC's de Classe A beneficiados
Fonte: arquivo técnico da empresa Marca Ambiental

3.2.8. Financiamento de soluções em resíduos de construção civil nas cidades

O Ministério das Cidades, responsável pela aplicação dos recursos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), buscando a viabilização de empreendimentos, propostos por agentes públicos e privados, para a *Gestão Diferenciada* dos RCC's e de resíduos volumosos (podas de árvores, móveis

usados etc.), criou, junto ao Conselho Curador do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), a modalidade de financiamento "Resíduos da Construção Civil" (PINTO & GONZÁLES, 2005).

As intervenções financiáveis por esta modalidade de financiamento são as seguintes (PINTO & GONZÁLES, 2005):

- A implantação ou ampliação de instalações físicas destinadas à recepção, transbordo e triagem;
- A implantação ou ampliação de instalações físicas para reciclagem;
- A implantação ou ampliação de aterros para armazenamento ou disposição final;
- A aquisição de materiais, equipamentos ou veículos para o acondicionamento, a coleta, a transformação e o destino dos resíduos da construção civil e resíduos volumosos;
- A execução de ações complementares de educação ambiental e participação comunitária.

3.2.9. Indicadores de qualidade dos resíduos da construção civil

PESO ESPECÍFICO APARENTE

Monteiro et al. (2001) observa que o peso específico aparente é o peso de resíduo sólido sem compactação em função de seu volume ocupado, expresso em kg/m^3 . Segundo os autores, a determinação do peso específico aparente é importante para o gerenciamento dos resíduos sólidos, em especial ao dimensionamento de equipamentos, áreas de armazenamento temporário e aterros para a disposição final.

Carneiro et al. (2001) ressalta importância deste parâmetro, visto que este é utilizado quando os materiais são quantificados em volume, procedimento rotineiro na maioria das obras realizadas no Brasil. Os resultados obtidos pelos autores citados neste parágrafo para o peso específico aparente de agregado reciclado miúdo, material passante na peneira 4,75 mm, e de agregado reciclado graúdo, material retido na peneira 4,75 mm e passante na peneira 19 mm, foram de 1,30 kg/l e 1,07kg/l, respectivamente.

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Segundo *Monteiro et al.* (2001), a composição gravimétrica trata-se do percentual de cada material presente no resíduo sólido em relação ao peso total da amostra em estudo. Para os autores, a composição gravimétrica de um resíduo sólido indica a possibilidade de aproveitamento de alguns materiais que possuem potencial para a reutilização ou reciclagem.

Carneiro et al. (2001) realizaram estudos para a obtenção da composição gravimétrica dos RCC's gerados na cidade de Salvador – BA. Apesar da heterogeneidade dos RCC's, os autores concluíram que 94% dos materiais apresentaram alto potencial de reciclagem na construção civil. A composição do entulho obtida foi de 53% de concreto e argamassa, 22% de solo e areia, 9% de cerâmica vermelha, 5% de cerâmica branca, 5% de rocha, 4% de plástico e 2% de outros.

Pinto (1986), *apud Leite* (2001), analisou a composição gravimétrica dos resíduos sólidos dos canteiros de obras da cidade de São Carlos – SP. Foram coletadas 33 (trinta e três) amostras de diferentes pontos de geração. Os resultados obtidos de composição gravimétrica destes resíduos sólidos foram de 63,67% de argamassa, 11,11% de telhas, lajotas e etc., 1,38% de pedras, 0,38% de cimento amianto, 0,13% de solo, 0,11% de blocos de concreto, 17,98% de tijolos maciços, 4,38% de concreto, 0,39% de ladrilhos de concreto, 0,2% de papel e matéria orgânica, e 0,11% de madeira.

Os estudos de composição gravimétrica realizados por *Carneiro et al.*(2001) e *Pinto* (1986) não enquadraram os materiais presentes nos RCC's nas classes estabelecidas pela Resolução CONAMA 307/02, pois os mesmos foram realizados antes da data de publicação desta legislação. Diferentemente destes estudos, nesta dissertação, além de se determinar a composição gravimétrica do **ENTUV-ES**, procurou-se enquadrar os materiais presentes neste resíduo sólido nas classes estabelecidas na Resolução supracitada.

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Segundo *Carneiro et al.* (2001), o risco de contaminação ambiental de um agregado reciclado pode ser avaliado através de análises químicas em que é verificada a presença de metais pesados, em extratos obtidos de uma amostra submetida a condições de lixiviação e de solubilização. Nesta dissertação, além das análises dos metais nos extratos lixiviado e solubilizado, foram avaliados cianeto, cloreto, fenol total, fluoreto, nitrato, sulfato e surfactantes. Nesta dissertação

O ensaio de lixiviação tem como objetivo identificar a toxicidade do resíduo sólido analisado, caracterizando-o como tóxico ou não tóxico. Já o ensaio de solubilização identifica solubilidade do resíduo sólido, caracterizando-o como solúvel ou não solúvel.

Os valores das concentrações de metais obtidos a partir os ensaios de lixiviação e solubilização dos RCC's da cidade de Salvador – BA obtidos nos estudos de *Carneiro et al.* (2001) estão apresentados nos Tabelas 3.3 e 3.4, respectivamente.

Tabela 3.3: Concentrações de metais obtidas no ensaio de lixiviação realizado por *Carneiro et al.* (2001)

Metais	Lixiviação (mg/l) - NBR 10.005:1987		
	Agregado reciclado gráúdo	Agregado reciclado miúdo	Limite máximo
Arsênio	<0,005	<0,005	5,0
Bário	<1,0	<1,0	100,0
Cádmio	<0,02	<0,02	0,5
Chumbo	<0,2	<0,2	5,0
Cromo	0,2	0,2	5,0
Mercúrio	<0,001	<0,001	0,1
Prata	<0,1	<0,1	5,0
Selênio	<0,002	<0,002	1,0

Fonte: *Carneiro et al.* (2001)

Tabela 3.4: Concentrações de metais obtidas no ensaio de solubilização realizado por *Carneiro et al.* (2001)

Metais	Solubilização (mg/l) NBR 10.006:1987		
	Agregado reciclado graúdo	Agregado reciclado miúdo	Limite máximo
Arsênio	<0,005	<0,005	0,05
Bário	0,5	0,5	1,0
Cádmio	<0,002	<0,002	0,005
Chumbo	<0,02	<0,02	0,05
Mercúrio	<0,001	<0,001	0,001
Prata	<0,05	<0,01	0,05
Selênio	<0,002	<0,002	0,01
Cobre	<0,02	<0,026	1,0
Ferro	<0,2	<0,2	0,3
Manganês	<0,02	<0,02	0,1
Sódio	75,7	94,1	200,0
Zinco	<0,1	<0,1	5,0

Fonte: *Carneiro et al.* (2001)

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A composição granulométrica de um agregado corresponde ao percentual do peso de cada material retido em peneira, dentre uma série de peneiras, em relação ao peso total da amostra estudada. Estas peneiras são padronizadas pela NBR NM-ISO 3310-1:1996 – “Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico” e NBR NM-ISO 3310-2:1996 – “Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 2 - Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada”.

As peneiras para ensaios de granulometria são divididas em uma série normal, composta pelas peneiras com abertura de malha de 150µm, 300µm, 600µm, 1,18mm, 2,36mm, 4,75mm, 9,5mm, 19mm, 37,5mm e 75mm, e numa série intermediária, formada pelas peneiras com abertura de malha de 6,3mm, 12,5mm, 25mm, 31,5mm, 50mm e 63mm.

Carneiro et al. (2001) apresentaram em seu trabalho valores médios da composição granulométrica dos RCC's de Salvador-BA, em função da origem. As fontes geradoras foram selecionadas levando em consideração o porte do gerador recebimento em Postos Geradores de Entulho (PDE's), estes de pequeno porte, e em Grande Gerador (depositado no aterro de Canabrava), e o nível de renda do local da geração dos RCC's, se alto, médio ou baixo. A

distribuição granulométrica dos entulhos de Salvador-BA apresentou predominantemente elementos maiores que 50 mm. Ainda, os autores constataram que não houve grande variação entre as faixas granulométricas das diferentes fontes supracitadas. A distribuição granulométrica obtida por este estudo está representada na Figura 3.12.

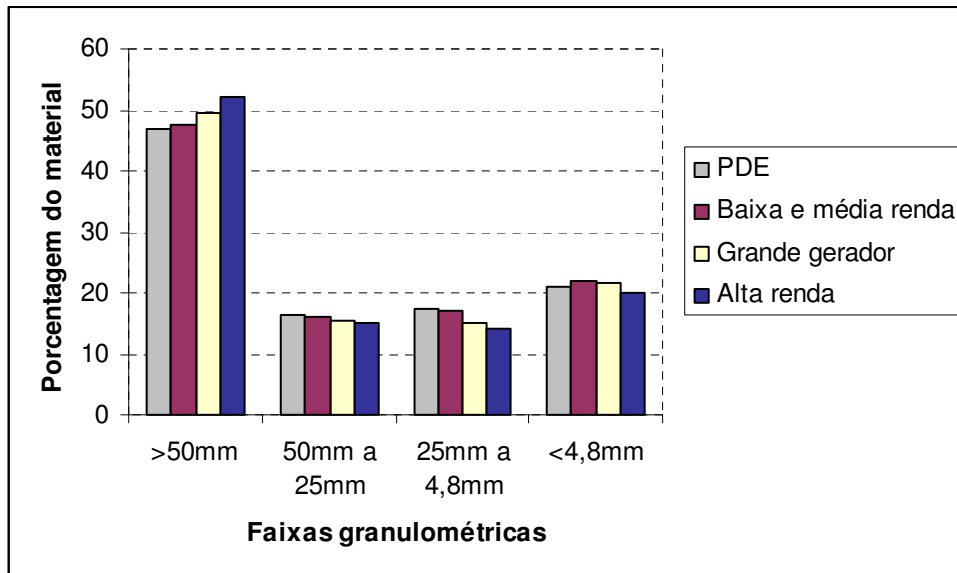


Figura 3.12: Valores médios da distribuição granulométrica dos RCC's de Salvador-BA em função da origem
Fonte: Carneiro et al. (2001)

Castro et al. (1997), em estudo de caracterização granulométrica dos RCC's gerados na cidade de São Paulo-SP, contataram que aproximadamente 80% do entulho destinado ao aterro de Itatinga é composto por materiais menores que 50 mm.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para se alcançar o objetivo principal desta dissertação, ou seja, identificar o potencial de uso do entulho da construção civil gerenciado pela Prefeitura Municipal Vitória-ES (**ENTUV-ES**), como agregado reciclado, Classe A, denominado **AGRECV-ES**, neste estudo foram desenvolvidas atividades experimentais de campo e de laboratório visando classificar e caracterizar o referido resíduo sólido, além de realizar uma coleta de informações sobre o seu atual gerenciamento.

O **ENTUV-ES**, primeiro material em análise nesta dissertação, é o resíduo sólido gerado no município de Vitória-ES, coletado pelo Serviço de Limpeza Urbana desta municipalidade e transbordado na Usina de Triagem e Compostagem de Vitória-ES (**UTCV**), tendo como local de disposição final o Aterro para Resíduos Classe IIB-Inertes da empresa Marca Ambiental Ltda (**ARIMA**), localizado no Bairro Jardim Tropical, município de Serra-ES.

O **AGRECV-ES**, segundo e principal material de investigação deste estudo, foi obtido a partir de amostras representativas do **ENTUV-ES**, coletadas no referido aterro descrito no parágrafo anterior, conforme critérios da NBR 10.007:2004 – “Amostragem de resíduos”, e submetidas a um processo de determinação da composição gravimétrica, realizado conforme a Resolução CONAMA 307/02.

Os procedimentos adotados para a caracterização do **ENTUV-ES** foram realizados de acordo com descrições de *Monteiro et al. (2001)* e *Carneiro et al. (2001)*. Sendo todos os materiais encontrados nas amostras enquadrados nas classes apresentadas na Resolução CONAMA 307/02, obteve-se uma classificação do **ENTUV-ES**.

No estudo de caracterização do **AGRECV-ES** buscou-se a classificação ambiental e técnica deste material. A caracterização ambiental do **AGRECV-ES** foi conduzida segundo procedimentos de Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo elas a NBR 10.004:2004, da NBR 10.005:2005 e da NBR 10.006:2006, podendo se classificar o material como

perigoso ou não perigoso (inerte ou não inerte). A caracterização técnica foi conduzida segundo diretrizes das normas da NBR NM 26:2001 – “Agregados-Amostragem”, a NBR NM 27:2001 – “Agregados-Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório”, a NBR NM 248:2001 – “Agregados-Determinação da composição granulométrica” e a NBR 7.211:2005 – “Agregados para concreto-Especificação”, obtendo-se a composição granulométrica das amostras de **AGRECV-ES**.

No Quadro 4.1 apresenta-se, de forma estruturada e dividido em etapas e fases, o programa experimental desenvolvido neste estudo.

Quadro 4.1: Programa experimental da caracterização e classificação do **ENTUV-ES** e do **AGRECV-ES**

Etapa	Atividades	Fases		
		Fase	Atividades	Justificativa
Etapa 01	Diagnóstico do gerenciamento do atual ENTUV-ES	Fase 01	Reuniões com técnicos e coleta de dados e informações	Embasamento para o programa metodológico
Etapa 02	Caracterização do ENTUV-ES	Fase 02	Amostragem	Obtenção de amostras para desenvolvimento de estudos
		Fase 03	Determinação de peso específico aparente	Necessário para dimensionamento de equipamentos, áreas e aterros
		Fase 04	Classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02	Atendimento à legislação vigente e conhecimento de materiais presentes no ENTUV-ES
Etapa 03	Caracterização do AGRECV-ES	Fase 05	Obtenção de amostras	Necessária para o desenvolvimento de estudos
		Fase 06	Determinação de peso específico aparente	Importante para o dimensionamento de equipamentos, usinas de beneficiamento, áreas e aterros
		Fase 07	Classificação de acordo com a NBR 10.004:2004	Fornecer subsídios para o gerenciamento adequado
		Fase 08	Caracterização conforme a NBR NM 248:2001	Necessária para a concepção e dimensionamento de usinas de beneficiamento

No Quadro 4.2 apresentam-se as fases desenvolvidas neste trabalho com os locais onde as mesmas foram realizadas.

Quadro 4.2: Locais de desenvolvimento das fases do programa experimental da caracterização e classificação do **ENTUV-ES** e do **AGRECV-ES**

Fase	Locais
Fase 01	Usina de Triagem e Compostagem de Vitória-ES (UTCV)
Fase 02	Aterro para Resíduos Classe IIB-Inertes da empresa Marca Ambiental (ARIMA)
Fase 03	Laboratório de Ensaios em Resíduos Sólidos (LABERSOL) do Centro Tecnológico da UFES
Fase 04	Laboratório de Ensaios em Resíduos Sólidos (LABERSOL) do Centro Tecnológico da UFES
Fase 05	Laboratório de Ensaios em Resíduos Sólidos (LABERSOL) do Centro Tecnológico da UFES
Fase 06	Laboratório de Ensaios em Resíduos Sólidos (LABERSOL) do Centro Tecnológico da UFES
Fase 07	SGS Geosol Laboratórios Ltda
Fase 08	Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) do Centro Tecnológico da UFES

No Quadro 4.3 apresenta-se um cronograma físico do desenvolvimento do programa experimental apresentado em forma de um Gráfico de “*Grantt*”.

Quadro 4.3: Cronograma físico do programa experimental da caracterização e classificação do **ENTUV-ES** e do **AGRECV-ES**

Etapa	Fase	Período			
		Ano de 2007			
		Abril	Mai	Junho	Julho
Etapa 01	Fase 01				
	Fase 02				
Etapa 02	Fase 03				
	Fase 04				
	Fase 05				
Etapa 03	Fase 06				
	Fase 07				
	Fase 08				

Nos próximos 03 (três) subitens deste capítulo serão apresentados maiores detalhes sobre as etapas e fases realizadas neste trabalho.

4.2. ETAPA 01 - DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO ATUAL DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES

Para melhor embasamento ao programa metodológico aqui descrito, foi diagnosticado o gerenciamento atual do **ENTUV-ES**. Nesta etapa, foram identificadas as fontes geradoras, a logística de transporte e armazenamento temporário e a disposição final e conhecida a geração mensal do **ENTUV-ES**. Para isto, reuniões foram realizadas, juntamente com os técnicos da **UTCV**, nas quais se obtiveram dados e informações sobre o gerenciamento atual do **ENTUV-ES**.

4.3. ETAPA 02 – CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES

4.3.1. Fase 02 – Amostragem

As campanhas de amostragem do **ENTUV-ES** foram realizadas no Aterro para Resíduos Classe IIB - Inertes da empresa Marca Ambiental Ltda (**ARIMA**). As amostragens desenvolveram-se neste local devido à facilidade logística, pois a empresa Marca Ambiental Ltda forneceu total apoio na coleta de amostras e porque todo **ENTUV-ES**, na época das campanhas, eram dispostos no aterro supracitado.

Para melhor operacionalização dos procedimentos de campo para coleta de amostras de **ENTUV-ES**, foi realizada, no dia 28 de março de 2007, uma campanha de amostragem piloto. A partir desta campanha, decidiu-se o procedimento de amostragem e o número de amostras possíveis de ser coletadas diariamente. Sendo assim, os resultados obtidos das amostras coletadas nesta campanha não foram utilizados nesta dissertação.

As campanhas de amostragem do **ENTUV-ES** foram desenvolvidas no mês de abril de 2007, entre os dias 02 e 27, durante 04 (quatro) semanas. Era realizado um total de 03 (três) campanhas de amostragem por semana, sendo que suas datas de desenvolvimento foram escolhidas de forma aleatória. Desta forma, realizaram-se 12 (doze) campanhas de amostragem de **ENTUV-ES** neste trabalho. No Quadro 4.4 apresentam-se as identificações destas campanhas com suas datas de realização.

Quadro 4.4: Campanhas de amostragem do **ENTUV-ES**

Identificação da campanha de amostragem	Data de realização
CA01	02 de abril de 2007
CA02	04 de abril de 2007
CA03	05 de abril de 2007
CA04	09 de abril de 2007
CA05	10 de abril de 2007
CA06	11 de abril de 2007
CA07	17 de abril de 2007
CA08	18 de abril de 2007
CA09	19 de abril de 2007
CA10	24 de abril de 2007
CA11	26 de abril de 2007
CA12	27 de abril de 2007

Obs: CA – Campanha de amostragem

Segundo informações fornecidas pela empresa Marca Ambiental Ltda, durante o período de realização das campanhas de amostragem, a disposição do **ENTUV-ES** no **ARIMA** era realizada por 02 (duas) carretas, com caçambas basculantes de capacidade volumétrica de transporte de 40 m³ e operadas pela Empresa Corpus Saneamento e Obras Ltda.

Diariamente, cada carreta realizava em média 05 (cinco) descarregamentos de **ENTUV-ES** no **ARIMA** durante o período diurno (7h às 16h) e mais 05 (cinco) durante o período noturno (19h às 04h).

O desenvolvimento diário das campanhas de amostragem foi feito a partir da coleta de amostras simples efetuadas em 03 (três) pilhas de **ENTUV-ES** descarregadas pelas carretas durante o período diurno. Na Figura 4.1 apresenta-se uma pilha de **ENTUV-ES** escolhida para a obtenção de amostras.



Figura 4.1: Pilha de **ENTUV-ES** escolhida para coleta de amostras

Coletando-se diariamente 03 (três) amostras de **ENTUV-ES**, obteve-se 36 (trinta e seis) amostras simples ao final das 12 (doze) campanhas de amostragem. Como cada amostra simples de **ENTUV-ES** possuía em torno de 400 litros, o volume total de amostras coletadas foi de aproximadamente 14,4 m³.

No Anexo A apresenta-se o formulário de coleta de informações para o desenvolvimento das campanhas de amostragem.

O processo de obtenção de amostras simples do **ENTUV-ES** seguiu, com certas adaptações, as recomendações descritas na NBR 10.007:2004, pois os procedimentos “Amostragem em montes ou pilhas de resíduos” e “Amostragem de resíduos sólidos heterogêneos” não se mostraram adequados ao tipo de resíduo sólido amostrado.

O procedimento “Amostragem em montes ou pilhas de resíduos” estabelece que os resíduos sólidos, nesta conformação, devem ser amostrados a partir de pontos de amostragem, utilizando-se um “amostrador de grãos” para sólidos com partículas de diâmetros menor que 0,6 cm ou um “amostrador *trier*” para materiais que estejam não muito secos. O **ENTUV-ES** não demonstrou nenhuma destas características e esse procedimento de amostragem não foi utilizado.

No período de amostragem não se conhecia os tipos e proporcionalidades de materiais presentes no **ENTUV-ES**. Como o procedimento “Amostragem de resíduos sólidos heterogêneos” descreve que a amostra coletada deve respeitar as proporcionalidades dos diferentes resíduos sólidos presentes, ele também não foi passível de aplicação para o **ENTUV-ES**.

As amostras simples de **ENTUV-ES** foram obtidas por meio de quarteamentos sucessivos a partir de pilhas formadas por descarregamentos de **ENTUV-ES** no **ARIMA**. A NBR 10.007:2004 define o quarteamento de resíduos sólidos como sendo:

“Processo de divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado.”

Na Figura 4.2 apresenta-se um esquema representativo do processo de quarteamento de resíduos sólidos.

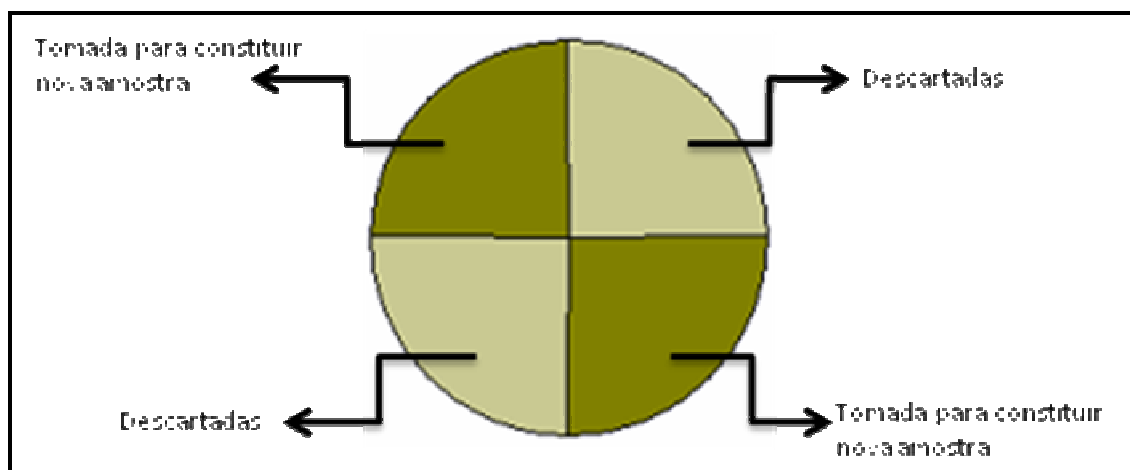


Figura 4.2: Esquema representativo do processo de quarteamento de resíduos sólidos

Parte do quarteamento das pilhas de **ENTUV-ES** foi realizada de forma mecanizada, com auxílio de retro-escavadeiras, e parte de forma manual, utilizando-se pás e enxadas. A coleta de amostras de ENTUV-ES seguiu o seguinte procedimento:

- **Passo 01:** Formação de pilhas com formato prisma trapezoidal (leira), com volume aproximado de 40 m³, após descarga das carretas sobre solo compactado;
- **Passo 02:** Homogeneização e quarteamento das pilhas de **ENTUV-ES**, com repetição de 04 (quatro) vezes e utilizando-se a retro-escavadeira, conforme figuras 4.3, 4.4 e 4.5. O operador da retro-escavadeira era instruído para passar a lâmina deste equipamento de forma superficial, buscando-se minimizar a mistura do solo do aterro com as amostras de **ENTUV-ES**;



Figura 4.3: Homogeneização de pilha de **ENTUV-ES** para posterior quarteamento



Figura 4.4: Quarteamento de pilha de **ENTUV-ES** depois de homogeneizada



Figura 4.5: Formação de nova de pilha de ENTUV-ES após quarteamento

- **Passo 03:** Após a quarta repetição de homogeneização e quarteamento, as amostras simples de **ENTUV-ES** sofreram ainda a quinta e última repetição, que foi desenvolvida de forma manual e com auxílio de pás e enxadas. Esta ultima repetição foi realizada sobre lona plástica, evitando-se a mistura com o solo local, de acordo com a Figura 4.6. As partes escolhidas do último quarteamento foram dispostas em 02 (dois) tambores metálicos de 200 litros, finalizando assim o procedimento de amostragem, e, posteriormente, transportadas para o Laboratório de Ensaios em Resíduos Sólidos (**LABERSOL**) localizado no Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo.



Figura 4.6: Formação de pilha de **ENTUV-ES** sobre lona plástica após o quarto quarteamento

As 03 (três) amostras simples coletadas por dia formou, então, uma amostra composta de **ENTUV-ES**. No Tabela 4.1 apresenta-se, dentre outras coisas, a identificação destas amostras compostas.

Tabela 4.1: Identificação de amostras compostas de **ENTUV-ES**

Campanha de origem	IAC	PAC (kg)	SPP (kg)	PPAC
CA01	AEV1	760,65	68.500	1,11%
CA02	AEV2	781,25	65.850	1,19%
CA03	AEV3	637,30	60.290	1,06%
CA04	AEV4	824,40	70.450	1,17%
CA05	AEV5	649,90	65.690	0,99%
CA06	AEV6	858,00	70.910	1,21%
CA07	AEV7	684,20	75.600	0,91%
CA08	AEV8	856,05	56.600	1,51%
CA09	AEV9	742,66	67.390	1,10%
CA10	AEV10	854,40	71.197	1,20%
CA11	AEV11	988,30	62.500	1,58%
CA12	AEV12	985,75	81.710	1,21%

* **IAC** - Identificação da amostra composta; **PAC** - Peso da amostra composta; **SSP** – Somatório dos pesos das pilhas de origem das amostras compostas; **PPAC** - Percentual do peso da amostra composta em relação ao somatório dos pesos das pilhas de origem.

4.3.2. Fase 03 – Determinação de peso específico aparente

Como dito anteriormente, os procedimentos de campo para a determinação do peso específico aparente das amostras compostas de **ENTUV-ES** foram desenvolvidos no **LABERSOL**.

No Anexo A apresenta-se o formulário de coleta de dados e informações para o desenvolvimento das atividades voltadas para a determinação do peso específico aparente das amostras de **ENTUV-ES**.

Cada amostra composta de **ENTUV-ES** coletada diariamente no **ARIMA** formava um volume de 1,2 m³, acondicionado em 06 (seis) tambores metálicos de 200 litros cada.

O peso específico aparente de cada amostra composta de **ENTUV-ES** foi determinado conforme proposições de *Monteiro et al.* (2001), a partir da Equação 4.1.

$$P_{\text{eev}} = \frac{\text{PAC}}{\text{VAC}} \quad (4.1)$$

Onde:

P_{eev}: Peso específico aparente de cada amostra composta de **ENTUV-ES** (kg/m³);

PAC: Peso da amostra composta de **ENTUV-ES** já subtraído dos pesos dos recipientes utilizados para acondicionamento (kg). Valores apresentados no Quadro 4.1. Pesagem desenvolvida em balança eletrônica com 600 kg de capacidade de carga, de acordo com a Figura 4.7;

VAC: Volume total da amostra composta de **ENTUV-ES** (1,2 m³).



Figura 4.7: Pesagem das amostras compostas de **ENTUV-ES**

Os pesos específicos aparentes das amostras compostas de **ENTUV-ES** foram tratados estatisticamente, a partir de cálculos de média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana e de plotagem de gráfico *Box-plot*, conforme metodologia apresentada no subitem 4.5.

4.3.3. Fase 04 – Classificação segundo a Resolução CONAMA 307/2002

Para classificação das amostras compostas de **ENTUV-ES** segundo a Resolução CONAMA 307/2002, foram desenvolvidas atividades que buscavam o conhecimento da composição gravimétrica deste resíduo sólido, sendo as mesmas realizadas no **LABERSOL** nos meses de abril e maio de 2007.

A segregação dos materiais presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES** para a determinação da composição gravimétrica foi realizada de forma manual e os grupos foram criados conforme adaptação da metodologia apresentada por *Carneiro et. al* (2001).

Os grupos dos materiais foram então enquadrados nas classes estabelecidas pela Resolução CONAMA 307/02. Devido às características do **ENTUV-ES** foi criada uma classe além das descritas nesta Resolução, sendo ela aqui definida como Classe “Resíduos volumosos”. Esta classe possibilitou avaliar a

influência de resíduos volumosos, não gerados na construção civil, no total do **ENTUV-ES** coletado pela administração municipal. No Quadro 4.5 apresentam-se os grupos utilizados para a obtenção da composição gravimétrica das amostras compostas de **ENTUV-ES**.

Quadro 4.5: Grupos para obtenção de composição gravimétrica das amostras compostas de **ENTUV-ES**

Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe de resíduos volumosos
1. solo e areia	10. metais ferrosos	18. gesso	20. borras ou embalagens de tintas	25. podas de árvores e vegetais
2. cerâmica branca	11. metais não-ferrosos	19. espuma, couro e tecido	21. líquidos ou embalagens de solventes	26. móveis usados
3. cerâmica vermelha	12. plástico		22. líquidos ou embalagens de óleos minerais	
4. asfalto	13. papel		23. lâmpadas fluorescentes	
5. concreto simples	14. papelão		24. amianto	
6. concreto armado	15. madeira			
7. argamassa	16. borracha			
8. rocha e brita	17. vidro			
9. outros				

Uma parcela de materiais enquadrados na Classe A presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES** possuíam granulometria bastante reduzida, o que tornou inviável a sua separação manual. Desta forma, foi criado o grupo “9.outros” que se trata do conjunto de todos os materiais pertencentes a Classe A não passíveis de separação manual.

Destaca-se que diariamente, devido ao pequeno número de pessoas envolvidas no trabalho, eram desenvolvidos procedimentos para obtenção da composição gravimétrica no material presente em 02 (dois) tambores metálicos. O formulário para anotação de dados e informações necessárias para a composição gravimétrica das amostras de **ENTUV-ES** encontra-se no Anexo A.

Os procedimentos para a obtenção da composição gravimétrica das amostras **ENTUV-ES** seguiram os passos descritos por *Monteiro et al. (2001)*, de acordo com as seguintes etapas:

- **Etapa 01:** as amostras de **ENTUV-ES** contidas em 02 (dois) tambores metálicos de 200 litros eram espalhadas sobre piso de concreto sendo que ao lado das mesmas eram dispostos recipientes identificados para cada grupo apresentado no Quadro 4.5, de acordo com a Figura 4.8;



Figura 4.8: Espalhamento de amostra de **ENTUV-ES** para a realização de atividades visando à obtenção de composição gravimétrica

- **Etapa 02:** separação dos materiais de maior volume, como peças de concreto, pedras, podas de árvore etc, e posterior acondicionamento nos recipientes identificados para cada grupo;
- **Etapa 03:** os materiais de menor volume foram submetidos a um primeiro peneiramento utilizando-se uma peneira com abertura de malha de 12,5mm, conforme Figura 4.9. Os materiais retidos nesta peneira eram então separados de forma manual e acondicionados nos recipientes identificados para cada grupo;



Figura 4.9: Material retido no primeiro peneiramento de uma amostra de **ENTUV-ES**

- **Etapa 04:** os materiais que passaram na peneira de abertura de 12,5mm foram então submetidos a um segundo peneiramento, desenvolvido com uma peneira de abertura de 4,75mm. Do material retido na peneira 4,75mm foram retirados todos os resíduos sólidos não pertencentes a Classe A, tais como vidro, vegetais, etc, formando o grupo “9.outros”, como observado na Figura 4.10. Já o material passante formou o grupo “1.solo e areia”, de acordo com a Figura 4.11. Os materiais foram acondicionados em recipientes específicos para cada grupo para posteriormente serem pesados;



Figura 4.10: Grupo “9.outros” - material pertencente à Classe A, passante na peneira 12,5mm e retido na peneira 4,75mm



Figura 4.11: Grupo “1.solo e areia” – material passante na peneira 4,75 mm

- **Etapa 05:** os materiais acondicionados nos recipientes foram então pesados utilizando-se uma balança eletrônica de capacidade de 100 kg.

As proporcionalidades de cada grupo nas amostras compostas do **ENTUV-ES** foram obtidas a partir da Equação 4.2.

$$PG = \left(\frac{PGA}{SPG} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

Sendo:

PG: Percentual do grupo na amostra composta de **ENTUV-ES** (%);

PG: Peso do grupo já subtraído dos pesos dos recipientes utilizados para acondicionamento (kg);

SPG: Somatório dos pesos dos grupos presentes na amostra composta de **ENTUV-ES** (kg).

Ainda, foram calculadas as médias aritméticas, o desvio padrão, os coeficientes de variação e a mediana dos valores de percentual de cada grupo presente nas amostras compostas de **ENTUV-ES**. Ainda, foram plotados gráficos *Box-plot* dos percentuais das classes apresentadas no Quadro 4.5.

Estes cálculos e plotagens foram desenvolvidos de acordo com a metodologia descrita no subitem 4.5.

4.4. ETAPA 03 – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE VITÓRIA-ES

4.4.1. Fase 05 - Obtenção de amostras

Depois da realização da Fase 04, os materiais presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES** pertencentes à Classe A, foram armazenados em uma área em separado do **LABERSOL**.

O conjunto dos materiais de Classe A de cada amostra composta de **ENTUV-ES** formou então 01 (uma) pilha de Agregado Reciclado de Vitória-ES (**AGRECV-ES**). Cada pilha de **AGRECV-ES** passou por 01 (um) processo de homogeneização e quarteamento, utilizando-se pás e enxadas, de acordo com a NBR 10.007:2004. As 02 (duas) partes escolhidas no quarteamento formaram 01 (uma) amostra de **AGRECV-ES** e as mesmas foram acondicionadas em 01 (um) tambor metálico de 200 litros e identificadas de acordo com a amostra composta de **ENTUV-ES** de origem. No Quadro 4.6 apresentam-se a identificação de cada amostra de **AGRECV-ES** com sua respectiva amostra composta de **ENTUV-ES** de origem.

Quadro 4.6: Identificação das amostras de **AGRECV-ES**

Identificação da amostra de AGRECV-ES	Amostra composta de ENTUV-ES de origem
AAR1	AEV1
AAR2	AEV2
AAR3	AEV3
AAR4	AEV4
AAR5	AEV5
AAR6	AEV6
AAR7	AEV7
AAR8	AEV8
AAR9	AEV9
AAR10	AEV10
AAR11	AEV11
AAR12	AEV12

4.4.2. Fase 06 – Determinação de peso específico aparente

A determinação do peso específico aparente das amostras de **AGRECV-ES** foi realizada no **LABERSOL** e de acordo *Monteiro et al.* (2001).

As amostras de **AGRECV-ES** foram pesadas em balança eletrônica de capacidade de 100 kg e, então, determinados os pesos específicos aparentes, conforme a seguinte expressão:

$$P_{eav} = \frac{PAA}{VAA} \quad (4.3)$$

Onde:

P_{eav}: Peso específico aparente de cada amostra de **AGRECV-ES** (kg/m³);

PAA: Peso da amostra **AGRECV-ES** menos o peso do recipiente de acondicionamento (kg);

VAA: Volume total da amostra de **AGRECV-ES** (0,2 m³).

O formulário utilizado para anotação de dados e informações para a determinação do peso específico aparente das amostras de **AGRECV-ES** é apresentado no Anexo A.

Depois de determinados os pesos específicos aparentes das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**, os dados foram tratados estatisticamente, com estimativas de média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana e plotagem de gráfico *Box-plot*, utilizando-se a metodologia apresentada no item 4.5.

4.4.3. Fase 07 – Classificação segundo a NBR 10.004:2004

Para avaliação de periculosidade das amostras de **AGRECV-ES** conforme a NBR 10.004:2004 foram estudados os aspectos de corrosividade, reatividade e toxicidade, pois estas amostras apresentaram indícios não possuíam os aspectos de inflamabilidade e patogenicidade.

Ainda, as amostras de **AGRECV-ES** não possuíam aspectos de combustibilidade e biodegradabilidade. Desta forma, na avaliação da

inerticidade, segundo a NBR 10.004:2004, das amostras de **AGRECV-ES** foram realizados somente ensaios de solubilização, de acordo com a NBR 10.006:2004, e analisados os extratos obtidos.

O procedimento para obtenção de amostras para ensaios de classificação das amostras de **AGRECV-ES** seguiu os seguintes passos:

- **Passo 01:** após a pesagem de cada amostra de **AGRECV-ES**, os materiais presente nos tambores mélicos foram dispostos sobre o piso de concreto do **LABERSOL**, formando-se, desta forma, 12 (pilhas) de 200 litros cada.
- **Passo 02:** em cada pilha de amostra de **AGRECV-ES** foram realizadas 03 (três) repetições de homogeneização e quarteamento, com auxílio de pás e enxadas, conforme a NBR 10.007:2004, obtendo-se uma amostra representativa com aproximadamente 20 litros;
- **Passo 03:** para atendimento da NBR 10.005:2004 e NBR 10.006:2004, as amostras de 20 litros de **AGRECV-ES** passaram por processos de peneiramento e britagem, desenvolvidos no **LEMAC**, para a redução de suas granulometrias para no máximo 9,5mm. Inicialmente, as amostras foram peneiradas com peneira de abertura de malha de 9,5mm, sendo que o material passante foi separado e o material retido foi encaminhado para processo duplo de britagem. O material britado era foi passado na peneira de abertura de malha de 9,5mm para se confirmar que todo o material possuía granulometria passante nesta peneira.
- **Passo 04:** depois de britadas e peneiradas, cada amostra de **AGRECV-ES** passaram por 02 (dois) processos de homogeneização e quarteamento, utilizando-se colher de pedreiro, de acordo com a NBR 10.007:2004, chegando a um volume final de 05 litros;
- **Passo 05:** as amostras de **AGRECV-ES** depois de quarteadas foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas ao laboratório SGS Geosol Laboratórios Ltda, localizado no município de Belo Horizonte-MG para serem analisadas. No Quadro 4.7 apresentam-

se a identificação destas amostras finais com suas respectivas amostras de **AGRECV-ES** de origem;

Quadro 4.7: Identificação das amostras finais de **AGRECV-ES** para a realização de ensaios para a classificação segundo a NBR 10.004:2004

Identificação da amostra	Amostra de AGRECV-ES de origem
AM1	AAR01
AM2	AAR02
AM3	AAR03
AM4	AAR04
AM5	AAR05
AM6	AAR06
AM7	AAR07
AM8	AAR08
AM9	AAR09
AM10	AAR10
AM11	AAR11
AM12	AAR12

No Quadro 4.8 apresentam-se os ensaios, e suas respectivas referências, que foram realizados pelo SGS Geosol Laboratórios Ltda nas amostras de **AGRECV-ES**.

Quadro 4.8 – Ensaios realizados nas amostras **AGRECV-ES**

Ensaio	Referência	Aspecto analisado
Lixiviação	NBR 10005:2004 – “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”	Toxicidade
pH	USEPA – SW 846	Corrosividade
Solubilização	NBR 10006:2004 – “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos”	Inerticidade

No Quadro 4.9, por sua vez, apresentam-se os parâmetros analisados nos extratos obtidos na lixiviação e na solubilização.

Quadro 4.9 – Parâmetros analisados nos extratos obtidos na lixiviação e na solubilização

Ensaio	Parâmetros	
	Não metais	Metais
Lixiviação	Fluoreto	Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb e Se
Solubilização	Cianeto, Cloreto, Fenol, Fluoreto, Nitrato, Sulfato e Surfactantes	Ag, As, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Na, Pb, Se e Zn

Todas as análises dos parâmetros listados no Quadro 4.9 seguiram as diretrizes apresentadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edition*, 2005. No Quadro 4.10 apresentam-se a identificação dos métodos utilizados nas análises dos extratos lixiviados e solubilizados.

Quadro 4.10 - Métodos das análises dos parâmetros previstos

	Parâmetro	Método de análise
Não metais	Cianeto	SMEWW 4500CN-B,C,D,E
	Cloreto	SMEWW 4500Cl-B
	Fenol	SMEWW 5530-B,C,D
	Fluoreto	SMEWW 4500F-C
	Nitrato	SMEWW 4500NO ₃ -B
	Sulfato	SMEWW 4500SO ₄ -E
	Surfactantes	SMEWW 5540-C
Metais	Arsênio	SMEWW 3114-B
	Mercúrio	SMEWW 3112-B
	Selênio	SMEWW 3114-B
	Outros metais	SMEWW 3030 e 3120-B

SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*

Para cada amostra de **AGRECV-ES** o laboratório SGS Geosol Laboratórios Ltda emitia um “Certificado de Análises”. No Anexo B apresentam-se cópias destes certificados.

Os resultados obtidos de pH e das análises dos extratos lixiviado e solubilizado foram então comparados aos limites estabelecidos na NBR 10.004:2004 para a

classificação das amostras de **AGRECV-ES** quanto ao risco ao meio ambiente e à saúde pública.

4.4.4. Fase 08 – Caracterização conforme a NBR NM 248:2001

A caracterização das amostras de **AGRECV-ES** conforme a NBR NM 248:2001 - “Agregados-Determinação da composição granulométrica” foi avaliada a partir de resultados de ensaios de granulometria desenvolvidos no **LEMAC**.

Inicialmente, a partir das características das amostras de **AGRECV-ES**, foi determinado o volume de amostra necessário para a realização dos ensaios de granulometria. Consultando-se a tabela 2 da NBR NM 248:2001, verificou-se que a massa necessária de cada amostra de **AGRECV-ES** para o desenvolvimento dos ensaios de granulometria seria de no mínimo 300 kg, pois as amostras possuíam materiais de considerável tamanho, tais como peças de concreto, pedras e outros.

Desta forma, depois da retirada de amostra para a realização da Fase 7, cada amostra de **AGRECV-ES** era transportada inteiramente para o **LEMAC** para serem submetidas a ensaios de granulometria.

Nos ensaios de granulometria das amostras de **AGRECV-ES** foram realizados peneiramentos em todas as peneiras da série normal e da série intermediária.

Os ensaios de granulometria se dividiram em 02 (duas) etapas. A primeira etapa foi realizada de forma mecanizada, utilizando-se 02 (duas) mesas vibratórias para o peneiramento das amostras apresentadas na Figura 4.12. Já a segunda etapa foi realizada de forma manual, com auxílio de peneiras de pequeno porte, conforme Figura 4.13.



Figura 4.12: Mesas vibratórias utilizadas para peneiramento de amostras de **AGRECV-ES**



Figura 4.13: Peneiras manuais utilizadas para peneiramento de amostras de **AGRECV-ES**

A primeira etapa de ensaios de granulometria das amostras de **AGRECV-ES** seguiu os seguintes passos:

- **Passo 01:** separação dos materiais com dimensões maiores que 75mm e acondicionamento em tambor plástico de 40 litros;
- **Passo 02:** acondicionamento do material restante em 04 (quatro) tambores plásticos de 40 litros;
- **Passo 03:** transporte dos (05) cinco tambores plásticos contendo amostras de **AGRECV-ES** para o **LEMAC**;

- **Passo 04:** pesagem do tambor plástico contendo materiais com dimensões maiores que 75mm;
- **Passo 05:** passagem dos materiais presentes nos tambores restantes na série de peneiras entre 4,75 e 75mm;
- **Passo 06:** pesagem dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 4,75 e 75mm e do material passante na peneira 4,75mm, utilizando-se balança eletrônica com capacidade de 100kg;
- **Passo 07:** realização de 05 (cinco) processos de homogeneização e quarteamento, sobre lona plástica, de acordo com a NBR NM 27:2001 – “Agregados-Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório”. As 03 (três) primeiras repetições foram realizadas com pá, conforme Figura 4.14, e as 02 (duas) últimas com colheres de pedreiro, como apresentado na Figura 4.15. Este passo foi desenvolvido, pois o material passante na peneira 4,75mm possuía grande quantidade, o que dificultava a realização dos ensaios de granulometria. Sendo assim, a amostra foi reduzida à massa um pouco maior que a mínima, estabelecida pela NBR NM 248:2001, necessária para a realização de ensaios de granulometria em agregados com dimensões menores que 4,75mm;



Figura 4.14: Quarteamento manual realizado com pá



Figura 4.15: Quarteamento manual desenvolvido com colher de pedreiro

- **Passo 08:** acondicionamento em saco plástico e identificação das partes escolhidas no quarteamento do material passante na peneira 4,75mm;
- **Passo 09:** repetição do Passo 07 no material restante e acondicionamento em saco plástico e identificação das partes escolhidas no quarteamento do material passante na peneira 4,75mm. Desta forma, eram encaminhadas para a segunda etapa de ensaios de granulometria (02) duas amostras que possuíam como origem 01 (uma) amostra de **AGRECV-ES**.

A segunda etapa de ensaios de granulometria realizadas nas (02) duas amostras geradas na primeira etapa que possuíam como origem 01 (uma) amostra de **AGRECV-ES** foi realizada da seguinte forma:

- **Passo 01:** passagem da amostra obtida no quarteamento do material passante na peneira 4,75m nas peneiras entre 150 μ m e 2,36mm;
- **Passo 02:** pesagem dos materiais retidos nas peneiras entre 150 μ m e 2,36mm. Para esta pesagem foi utilizada uma balança eletrônica de precisão com capacidade de 1kg que é apresentada na Figura 4.18;



Figura 4.16: Balança eletrônica de precisão com capacidade de 1kg

As proporções em peso dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 4,75 e 75 mm foram estimadas a partir da Equação 4.4.

$$P_{G1} = \left(\frac{P_1}{PT} \right) \times 100 \quad (4.4)$$

Onde:

P_{G1}: proporção em peso dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 4,75 e 75 mm (%);

P₁: peso dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 4,75 e 75 mm (kg);

PT: Somatório dos pesos dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 4,75 e 75 mm mais o peso do material passante na peneira 4,75mm (kg).

Já as proporções dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 150µm e 2,36mm foram obtidas por meio da Equação 4.5.

$$P_{G2} = M_{PG} \times \left(\frac{PP_{4,75}}{PT} \right) \quad (4.5)$$

Sendo:

P_{G2}: proporção em peso dos materiais retidos em cada peneira com abertura de malha entre 150 μ m e 2,36mm (%);

M_{PG}: média entre as proporções em cada peneira entre 150 μ m e 2,36mm das 02 (duas) amostras que possuíam como origem 01 (uma) amostra de **AGRECV-ES** (kg);

PP_{4,75}: peso do material passante na peneira 4,75mm (kg).

A partir destas proporções obtiveram-se as porcentagens retidas acumuladas em cada peneira. Estas proporções foram tratadas estatisticamente, calculando-se média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação, conforme metodologia do subitem 4.5.

Ainda, foram traçadas curvas granulométricas das amostras de **AGRECV-ES** e das proporções médias obtidas. A curva granulométrica apresenta, em forma gráfica, os percentuais acumulados em função da abertura de malha das peneiras.

Nos ensaios de granulometria foi constatada a presença de pisos e azulejos cerâmicos. Estes materiais, em relação aos outros pertencentes À Classe A do **ENTUV-ES**, possuía, em algumas ocasiões, grande disparidade entre as suas dimensões máxima e mínima. Em termos gerais, os pisos e azulejos cerâmicos apresentam espessura de 5mm. Como recomendado pela NBR 7.211:2005 – “Agregados para concreto-Especificação”, a relação entre a máxima e a mínima dimensão de um agregado, definida como o índice de forma dos grãos, não deve ser superior a 3. Sendo assim, devido à presença de pisos e azulejos cerâmicos nas amostras de **AGRECV-ES**, é recomendado que a granulometria deste subproduto não seja superior à 15 mm. Como não existe peneira com abertura de malha de 15 mm, nesta dissertação se adotou como dimensão máxima do agregado graúdo o valor de 12,5 mm.

A partir das granulometrias obtidas nos ensaios, foram criados 03 (três) grupos de materiais, sendo eles: o “Agregado reciclado miúdo”, “o Agregado reciclado graúdo” e o “Agregado reciclado passível de britagem”. Estes grupos foram

importantes para a avaliação de quantidades de materiais presentes no AGRECV-ES passíveis peneiramento somente e aqueles que necessitavam de processos de britagem. Descrições destes grupos são apresentadas a seguir.

- **Agregado reciclado miúdo (ARM):** material passante na peneira 4,75mm;
- **Agregado reciclado graúdo (ARG):** material retido na peneira 4,75 mm e passante na peneira 12,5mm. As percentagens totais destes materiais em cada amostra de AGRECV-ES foram obtidas pelo somatório dos percentuais retidos nas peneiras 4,75mm, 6,3mm e 9,5mm;
- **Agregado reciclado passível de britagem (ARPB):** materiais com granulometria superior à 12,5mm. As percentagens totais destes materiais foram estimadas por meio do somatório dos percentuais dos materiais retidos nas peneiras com abertura de malha igual ou superior à 12,5mm.

Foram estimados as médias aritméticas, os desvios padrões, os coeficientes de variação e a mediana dos grupos de agregados reciclados. Também, o gráfico *Box-plot* de cada grupo foi traçado.

4.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

O tratamento estatístico dos resultados obtidos nesta dissertação consistiu no cálculo de média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variação e mediana e plotagens de gráficos *Box-plot's*. Estes cálculos foram realizados utilizando-se um pacote estatístico, o *software* “R” que é de domínio público.

A média aritmética de um conjunto de valores é a medida de centro encontrada pela adição dos valores e divisão do total pelo número de valores. A mediana também se trata de uma medida de centro é o valor do meio quando os dados originais estão arranjados em ordem crescente (ou decrescente) de magnitude (TRIOLA, 2005).

O desvio padrão é uma medida da variação dos valores em torno da média (TRIOLA, 2005). O coeficiente de variação é obtido pela divisão do desvio padrão pela a média, sendo que a partir do mesmo pode-se avaliar a homogeneidade do conjunto de dados e, conseqüentemente, se a média é uma boa medida para representar estes dados (GUEDES et al., 2005). Segundo as autoras citadas neste parágrafo, coeficientes superiores a 50% sugerem alta dispersão, o que indica heterogeneidade dos dados, não sendo representativa a média, indicando a utilização de medianas ou modas. No caso específico desta dissertação, em tratamentos estatísticos nos quais se estimaram valores de coeficientes de variação maiores que 50%, a mediana foi adotada para representar um conjunto de resultados.

O gráfico *Box-plot* é uma análise gráfica que utiliza (05) cinco medidas estatísticas, sendo elas o valor mínimo, o valor máximo, a mediana e o primeiro e terceiro quartil de um conjunto de valores (GUEDES et al., 2005). Para as autoras, este conjunto de medidas oferece uma noção sobre posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ETAPA 01 - DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO ATUAL DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES

5.1.1. Identificação de fontes geradoras

Segundo informações dos técnicos da **UTCV**, as principais fontes que contribuem para a geração do **ENTUV-ES** são as seguintes:

- **Estações Bota-Fora:** locais de entrega voluntária de RCC's e de resíduos volumosos, gerados por pequenos geradores, que não são passíveis de coleta regular realizada por caminhões compactadores. Atualmente, o Município de Vitória-ES possui 03 (três) Estações Bota-Fora em operação, sendo elas localizadas nos bairros Jardim Camburi, Maria Ortiz e São Pedro. Os resíduos sólidos que são encaminhados para estas estações são acondicionados e armazenados, de forma segregada, em caixas estacionárias e sobre o solo. A segregação dos resíduos sólidos nestas estações é realizada com a disponibilidade de 03 (três) caixas estacionárias para RCC's de Classe A, 01 (uma) para materiais recicláveis, como plástico, papel e papelão, e 01 (uma) para cascas de coco e de áreas descobertas para armazenamento de móveis usados e podas de árvores e vegetais. Na Figura 5.1 apresenta-se uma vista parcial da Estação Bota-Fora de Jardim Camburi;



Figura 5.1: Estação Bota-Fora de Jardim Camburi

- **Pontos viciados:** atualmente, o município de Vitória-Es possui cerca de 156 (cento e cinquenta e seis) pontos viciados mapeados pelo Serviço de Limpeza Pública. Estes pontos viciados são terrenos baldios ou logradouros públicos nos quais a população circunvizinha dispõe inadequadamente resíduos sólidos, como os RCC's e resíduos volumosos. Para a limpeza destes pontos viciados, a prefeitura municipal disponibiliza equipamentos de coleta (pás-carregadeira e retro-escavadeiras) e de transporte (caminhões basculantes e poliguindastes). Na Figura 5.2 apresenta-se um ponto viciado localizado no bairro Jardim Camburi;



Figura 5.2: Ponto viciado localizado no bairro Jardim Camburi

- **Obras públicas:** algumas obras licitadas pela Prefeitura Municipal de Vitória-ES não possuem em sua planilha orçamentária o item de remoção de resíduos sólidos. Desta forma, o Serviço de Limpeza Pública se responsabiliza pela coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos gerados nessas obras públicas;
- **Limpeza de logradouros públicos:** geração de resíduos sólidos compostos por solo e areia e outros. Prioritariamente, os materiais gerados na limpeza de logradouros públicos são acondicionados em sacos plásticos e coletados pela coleta regular do município de Vitória-ES. Contudo, eventualmente, estes resíduos sólidos são coletados e armazenados juntamente com o **ENTUV-ES** na **UTCV**;

- **Manutenção de áreas verdes:** preferencialmente, os resíduos sólidos gerados na manutenção de áreas verdes do município de Vitória-ES, compostos por podas de árvores e vegetais, são utilizados na compostagem realizada na **UTCV**. Os resíduos sólidos gerados na manutenção de áreas verdes de Vitória-ES que não são utilizados nesta compostagem são acumulados com o **ENTUV-ES** na **UTCV**.

5.1.2. Geração do Entulho de Vitória-ES

Na Tabela 5.1 apresentam-se dados, fornecidos pela **UTCV**, de geração mensal do **ENTUV-ES**.

Tabela 5.1: Geração mensal do **ENTUV-ES**

Ano	Mês	Geração (1.000kg)
2006	Abril	5.602,70
	Maio	6.667,10
	Junho	5.730,00
	Julho	8.013,93
	Agosto	7.472,53
	Setembro	6.764,23
	Outubro	8.151,08
	Novembro	6.624,50
	Dezembro	7.341,79
2007	Janeiro	8.342,43
	Fevereiro	7.759,17
	Março	7.548,54
	Abril	7.066,40
Média aritmética		7.160,34
Desvio padrão		861,95
Coeficiente de variação		12,04%
Mediana		7.341,79

Fonte: UTCV

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5.1, verifica-se que não houve significativas variações entre os mesmos, com coeficiente de variação de 12,04% (menor que 50%), valor este consideravelmente pequeno, e que a média aritmética obtida pode representar de forma satisfatória a geração mensal do **ENTUV-ES**.

A geração mínima ocorreu no mês de abril de 2006 (5.602,70 toneladas) e a geração máxima aconteceu em janeiro de 2007 (8.342,43 toneladas). Esta variação pode ter acontecido porque que no mês de janeiro, devido à

proximidade do mês de pagamento do 13^o salário (dezembro), o número de construções e reformas aumenta consideravelmente, contribuindo, desta forma, com o aumento da geração de RCC's.

5.1.3. Logística de transporte e armazenamento temporário

Os resíduos sólidos das 05 (cinco) fontes geradoras identificadas no subitem 5.1.1 são coletados e encaminhados, utilizando-se veículos de menor porte, para a **UTCV**.

Na **UTCV**, estes resíduos sólidos são armazenados de forma misturada numa área descoberta para posterior transbordamento em carretas com capacidade volumétrica de 40m³.

Então, o **ENTUV-ES** é encaminhado para o Aterro para Resíduos Classe IIB - Inertes da empresa Marca Ambiental Ltda (**ARIMA**).

5.1.4. Disposição final

O local de disposição final do **ENTUV-ES** é o Aterro para Resíduos Classe IIB - Inertes da empresa Marca Ambiental Ltda (**ARIMA**), localizado no Bairro Jardim Tropical, município de Serra-ES. Este aterro, como qualquer Aterro Classe IIB, não possui sistemas de impermeabilização ou drenagem de percolados e nele os resíduos sólidos não são recobertos diariamente.

5.2. ETAPA 02 – CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO DE VITÓRIA-ES

5.2.1. Peso específico aparente

Na Tabela 5.2 apresentam-se os pesos específicos aparentes de cada amostra composta de **ENTUV-ES**, obtidos por meio da metodologia apresentada no subitem 4.3.2. Nesta tabela também são apresentados a média aritmética, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a mediana destes pesos específicos aparentes, estimados a partir da metodologia descrita no subitem 4.4.

Tabela 5.2: Peso específico aparente das amostras compostas de **ENTUV-ES**

Amostra	Peso específico aparente (kg/m ³)
AEV1	633,88
AEV2	588,65
AEV3	570,63
AEV4	650,29

Tabela 5.2: Peso específico aparente das amostras compostas de **ENTUV-ES** (continuação)

Amostra	Peso específico aparente (kg/m³)
AEV5	637,54
AEV6	706,17
AEV7	553,08
AEV8	646,54
AEV9	653,72
AEV10	779,00
AEV11	763,50
AEV12	741,79
Média aritmética	660,40
Desvio padrão	73,67
Coeficiente de variação	11,16%
Mediana	648,42

Os resultados apresentados na Tabela 5.2 demonstram que não existe alta dispersão entre os pesos específicos aparentes das amostras compostas de **ENTUV-ES**, com valor mínimo de 570,63kg/m³ e máximo de 779,00kg/m³. Analisando-se o coeficiente de variação, estimado em 11,16% (menor que 50%), verifica-se que a média aritmética obtida (660,40kg/m³) pode ser uma boa medida para representar os pesos específicos das amostras compostas de **ENTUV-ES**.

Com uma geração de 7.066,40 toneladas e considerando um peso específico aparente médio de 660,40kg/m³, estima-se um volume de **ENTUV-ES** para o mês de abril de 2007 de 10.700,18 m³, volume esta capaz de carregar em torno de 268 (duzentos e sessenta e oito) carretas com capacidade de 40m³.

Na Figura 5.3 apresenta-se o gráfico *Box-plot* dos pesos específicos aparentes das amostras compostas de **ENTUV-ES**.

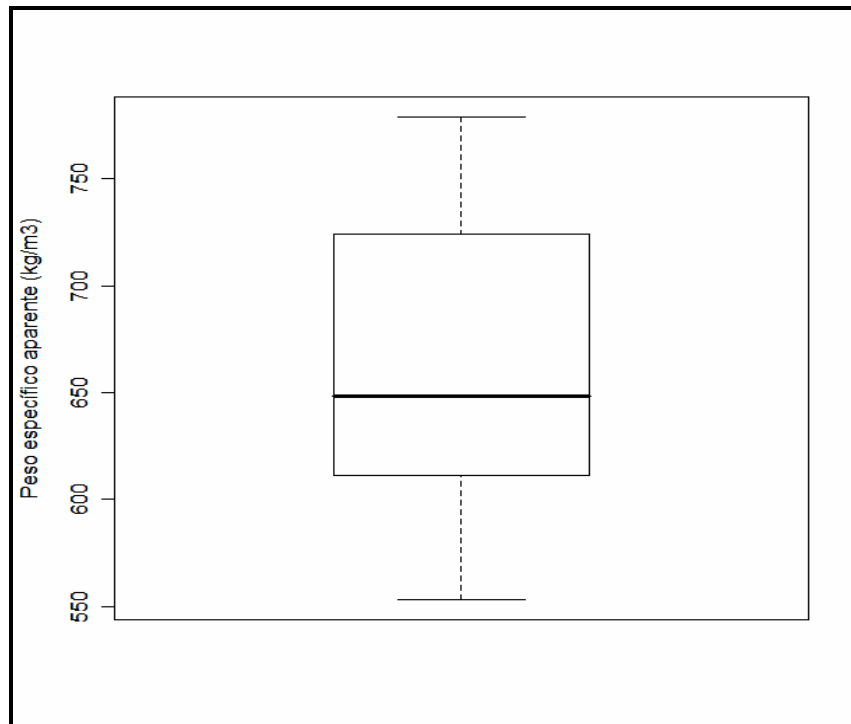


Figura 5.3: Box-plot dos pesos específicos aparentes das 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES**

Analisando-se o *Box-plot* da Figura 5.3, verifica-se que não existe nenhum resultado de peso específico aparente das amostras de **ENTUV-ES** discrepante em relação aos outros resultados obtidos. Ainda, o *Box-plot* da Figura 5.3 demonstra que a distribuição destes pesos específicos aparentes apresenta assimetria positiva, com dispersão predominante para valores maiores que a mediana (648,42 kg/m³).

5.2.2. Classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02

Seguindo a metodologia descrita no subitem 4.3.2, na Tabela 5.3 apresentam-se as composições gravimétricas e a classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02 das amostras compostas de **ENTUV-ES**.

Tabela 5.3: Composição gravimétrica e classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02 das amostras compostas de ENTUV-ES

Classe	Grupo	Porcentagens em peso em cada amostra de ENTUV-ES											
		AEV1	AEV2	AEV3	AEV4	AEV5	AEV6	AEV7	AEV8	AEV9	AEV10	AEV11	AEV12
A	1. solo e areia	44,04%	34,90%	31,84%	27,48%	26,86%	22,91%	29,82%	33,43%	33,01%	32,94%	32,00%	33,69%
	2. cerâmica branca	0,87%	0,01%	0,81%	0,51%	0,25%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
	3. cerâmica vermelha	5,69%	7,84%	6,09%	10,75%	7,01%	7,11%	8,27%	10,35%	10,15%	8,85%	8,03%	9,21%
	4. asfalto	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,02%	0,88%	2,00%	0,21%	0,00%	0,19%	0,10%
	5. concreto simples	10,84%	7,96%	11,57%	10,03%	11,96%	18,10%	4,59%	8,23%	5,75%	8,96%	8,20%	9,15%
	6. concreto armado	0,71%	0,00%	0,00%	0,40%	0,00%	2,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,63%	0,00%
	7. argamassa	10,05%	16,89%	12,99%	21,38%	14,38%	19,80%	16,17%	16,41%	19,77%	23,20%	22,61%	21,94%
	8. rocha e brita	0,84%	5,44%	4,61%	4,77%	3,25%	2,57%	2,47%	1,98%	3,70%	2,00%	5,77%	3,83%
	9. outros	10,16%	7,13%	4,93%	5,99%	7,79%	5,41%	8,62%	7,22%	5,69%	7,36%	7,51%	6,83%
	Total da classe	83,20%	80,18%	72,88%	81,30%	71,50%	77,99%	70,81%	79,62%	78,28%	83,35%	86,93%	84,74%
B	10. metais ferrosos	0,10%	0,05%	0,43%	0,13%	0,35%	0,28%	0,57%	0,08%	0,12%	0,26%	1,36%	0,15%
	11. metais não-ferrosos	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12. plástico	1,03%	0,63%	1,47%	1,21%	1,20%	1,03%	2,41%	1,44%	1,26%	0,86%	1,12%	0,78%
	13. papel	0,43%	0,41%	0,36%	0,13%	0,60%	0,16%	0,43%	0,56%	0,20%	0,15%	0,23%	0,59%
	14. papelão	0,44%	0,04%	0,36%	0,39%	0,60%	0,14%	0,53%	0,37%	0,19%	0,05%	0,23%	0,14%
	15. madeira	3,03%	6,29%	2,78%	2,42%	4,95%	3,53%	8,75%	2,56%	2,77%	3,08%	3,07%	2,78%
	16. borracha	0,05%	0,13%	0,08%	0,02%	0,22%	0,09%	0,03%	0,04%	0,21%	0,24%	0,00%	0,10%
	17. vidro	0,24%	0,22%	0,25%	0,28%	0,28%	0,49%	0,28%	0,24%	0,29%	0,19%	1,03%	0,47%
	Total da classe	5,32%	7,78%	5,73%	4,57%	8,21%	5,69%	13,01%	5,29%	5,04%	4,83%	7,04%	5,00%
C	18. gesso	0,00%	2,11%	0,39%	1,11%	0,37%	0,37%	1,30%	0,43%	1,71%	0,60%	0,66%	0,60%
	19. espuma, couro e tecido	0,30%	0,12%	0,47%	0,50%	2,37%	0,59%	0,65%	0,12%	0,54%	0,38%	0,32%	0,19%
		Total da classe	0,30%	2,23%	0,86%	1,61%	2,74%	0,96%	1,95%	0,55%	2,25%	0,98%	0,98%

Tabela 5.3: Composição gravimétrica e classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02 das amostras compostas de **ENTUV-ES** (continuação)

Classe	Grupo	Porcentagens em peso em cada amostra de ENTUV-ES											
		AEV1	AEV2	AEV3	AEV4	AEV5	AEV6	AEV7	AEV8	AEV9	AEV10	AEV11	AEV12
D	20. borras ou embalagens de tintas	0,33%	0,03%	0,04%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,02%	0,09%	0,37%
	21. Líquidos ou embalagens de solventes	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	22. líquidos ou embalagens de óleos minerais	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	23. lâmpadas fluorescentes	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	24. amianto	0,08%	0,46%	0,61%	0,56%	1,59%	0,64%	0,91%	0,60%	0,29%	0,60%	0,63%	1,02%
	Total da classe	0,41%	0,48%	0,66%	0,58%	1,66%	0,64%	0,91%	0,60%	0,34%	0,62%	0,72%	1,39%
Resíduos volumosos	25. podas de árvores e vegetais	10,77%	9,33%	19,72%	11,14%	12,99%	14,71%	13,31%	13,95%	14,09%	10,22%	4,32%	8,08%
	26. móveis usados	0,00%	0,00%	0,15%	0,80%	2,91%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Total da classe	10,77%	9,33%	19,88%	11,94%	15,90%	14,71%	13,31%	13,95%	14,09%	10,22%	4,32%	8,08%

A partir da Tabela 5.3, nota-se que a Classe A, em todas as amostras compostas de **ENTUV-ES**, foi a que mais contribuiu na composição gravimétrica, com percentuais em peso entre 70,81% e 86,93%.

O grupo “1.solo e areia” foi o que apresentou maior percentual em peso (mínimo de 22,91% e máximo de 44,04%) em todas as amostras compostas do **ENTUV-ES**. Esta prevalência em termos percentuais pode ter acontecido porque o **ENTUV-ES** possui como fonte geradora não somente a construção civil, mas também, dentre outras, a limpeza de logradouros públicos. Os resíduos sólidos gerados nesta limpeza possuem consideráveis quantidades de solo e areia que são coletados após as atividades de varrição de logradouros, o que pode ter influenciado significativamente na composição das amostras compostas de **ENTUV-ES**.

A argamassa, em obras civis, trata-se de material bastante desperdiçado nos processos construtivos de emboço e reboco de alvenarias e assentamento de pisos e azulejos, confirmando-se, com isso, o grupo “7.argamassa” como o segundo maior contribuinte na composição de 10 (dez) das 12 (doze) as amostras compostas de **ENTUV-ES**.

Os grupos “3.cerâmica vermelha” e “5.concreto simples” apresentaram significativas porcentagens em peso dentre os materiais da Classe A. A cerâmica vermelha é constituinte de telhas e de tijolos para alvenaria e os mesmos são rotineiramente quebrados devido a descuidos durante os processos construtivos, o que pode ter ocasionado esta considerável presença do grupo “3.cerâmica vermelha” nas amostras compostas de **ENTUV-ES**. Sobras de concreto simples em obras civis são geradas freqüentemente, pois este material, depois de dosado, precisa de certo imediatismo para a sua aplicação e em casos nos quais não se consegue isto, o mesmo, ao final do dia, é descartado e possivelmente este é o motivo da freqüência do grupo “5.concreto simples” nas amostras compostas de **ENTUV-ES**.

Na Classe A, os percentuais dos grupos “2.cerâmica branca”, “4.asfalto” e “6.concreto armado” apresentaram expressivas variações percentuais entre as

amostras compostas de **ENTUV-ES**. Já os outros grupos desta classe apresentaram considerável constância em sua geração.

A cerâmica branca é utilizada para a produção de louças, tais como pias e vasos sanitários. Estes materiais são descartados somente em casos de falhas no produto ou em demolições, tornando pouco rotineira a geração de RCC's compostos por cerâmica branca.

O asfalto é utilizado na pavimentação de pátios, ruas, avenidas e rodovias. O seu descarte é realizado em casos de manutenção de pavimentos e nas escavações de logradouros para a instalação de estruturas de comunicação e de transportes de água e efluentes. Nestes tipos de obras, os geradores são responsáveis pela coleta, armazenamento e disposição final destes resíduos sólidos e talvez esta particularidade seja a principal causa da pequena e variável ocorrência do grupo "4.asfalto" nas amostras, pois o **ENTUV-ES** é de responsabilidade da administração municipal.

O concreto armado constitui-se no principal material utilizado nas infra-estruturas e super-estruturas das edificações construídas no país, sendo que o descarte do mesmo é realizado em demolições e desmoronamentos de residências e prédios. No caso específico do Município de Vitória-ES, poucas são as ocorrências de demolições de estruturas de concreto e de desmoronamentos de edificações, o que pode ter influenciado nas pequenas e variáveis porcentagens do grupo "6.concreto armado" nas amostras compostas de **ENTUV-ES**. No caso de usinas de produção de agregados reciclados a partir de RCC's de Classe A, quanto menor a quantidade de concreto armado melhor é o funcionamento das mesmas, pois este material pode atrapalhar nos processos de britagem devido ao aço presente.

Destaca-se que a constância na geração de RCC's de Classe A é benéfica para a reutilização e reciclagem destes resíduos sólidos em usinas de produção de agregados reciclados, pois quanto maior a frequência de geração, maior é a confiabilidade do dimensionamento dos equipamentos presentes nestas unidades. As variações de disponibilidade destes RCC's podem

inviabilizar as plantas destas usinas, com a ocorrência de sub-dimensionamentos ou super-dimensionamentos das mesmas.

A Classe B, que são os materiais reutilizáveis ou recicláveis para outros fins que não os agregados, apresentou porcentagens variando entre 4,83% e 13,01%, com o grupo “15.madeira” configurando-se no maior contribuinte desta classe. A madeira é um material bastante utilizado em obras civis prediais, por tempo determinado, em andaimes, fôrmas e escoramentos diversos. Ao término destas obras, as mesmas ficam sem serventia, sendo elas descartadas, o que pode ter contribuído na considerável geração do grupo “15.madeira”.

Os metais não-ferrosos, compostos por cobre, alumínio etc, em termos de comercialização de recicláveis, são os materiais que possuem maior valor financeiro agregado em relação aos outros grupos apresentados na Tabela 5.2, o que faz com que os mesmos, em diversas ocasiões, sejam coletados por catadores antes mesmo do recolhimento realizado pela administração municipal. Talvez seja por esse motivo que o grupo “11.metals não-ferrosos” apresentou em quase todas as amostras de **ENTUV-ES** porcentagem nula em peso.

Os materiais que não possuem tecnologia ou que são inviáveis, em termos técnicos ou econômicos, para a reutilização ou reciclagem, classificados segundo a Resolução CONAMA 307/2002 como Classe C, mostraram-se em 25% das amostras de **ENTUV-ES** como os menos gerados. No entanto, o gesso possui como composição principal o sulfato de cálcio duplamente hidratado (PETRUCCI, 1982), material este expansivo que pode influenciar negativamente na sua disposição final em aterros de resíduos sólidos inertes (Classe IIB).

Ainda, 75% das amostras compostas de **ENTUV-ES** apresentaram menor percentual em peso de materiais pertencentes à Classe D (resíduos perigosos), com mínimo de 0,34% e máximo de 1,66%, porcentagens estas insignificantes perante a massa de geração deste resíduo sólido. Contudo, destaca-se que, mesmo presente em pequena escala no **ENTUV-ES**, esta classe é composta

por resíduos sólidos com maior potencial de risco para o meio ambiente e a saúde pública, necessitando, desta forma de maiores critérios para o seu gerenciamento, seja na coleta, acondicionamento, transporte ou disposição final.

É importante ressaltar que 11 (onze) das 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES** tiveram a Classe “Resíduos volumosos” como a segunda maior contribuinte em suas composições, com porcentagens em peso variando entre 4,32% e 19,88%. Os resíduos sólidos enquadrados nesta classe (“25.podas de árvores e vegetais” e “26.móveis usados”) não são gerados na construção civil e, no caso das podas de árvores e vegetais, possuem certa biodegradabilidade, necessitando-se de disposição final em aterros para resíduos não inertes (Classe IIA).

Na Semana Santa, no Estado do Espírito Santo, é comum que se produza um prato típico local, conhecido como “Torta Capixaba”, que contém, dentre outros ingredientes, peixes, mariscos e palmito. Especificamente em Vitória-ES, nesta época, o palmito é vendido no bairro Vila Rubim em uma área aberta. No ano de 2007, esta semana aconteceu entre os dias 05 e 08 de abril. Neste ano, as cascas de palmito acumuladas nesta área foram coletadas pelo Serviço de Limpeza Pública e dispostas juntamente com o **ENTUV-ES** no **ARIMA**.

Verificando-se o Quadro 4.4, a Tabela 4.1 e a Tabela 5.3, nota-se que a amostra composta de **ENTUV-ES** coletada no dia 05 abril de 2007, identificada como AEV3, foi a que apresentou maior porcentagem do grupo “25.podas e vegetais”. A explicação para este aumento é que estas amostras compostas **ENTUV-ES** possuíam considerável concentração de cascas de palmito, devido à proximidade da Semana Santa.

Nas figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam-se, respectivamente, os gráficos *Box-plot's* das porcentagens das classes A, B, C, D e de Resíduos volumosos nas amostras compostas de **ENTUV-ES**.

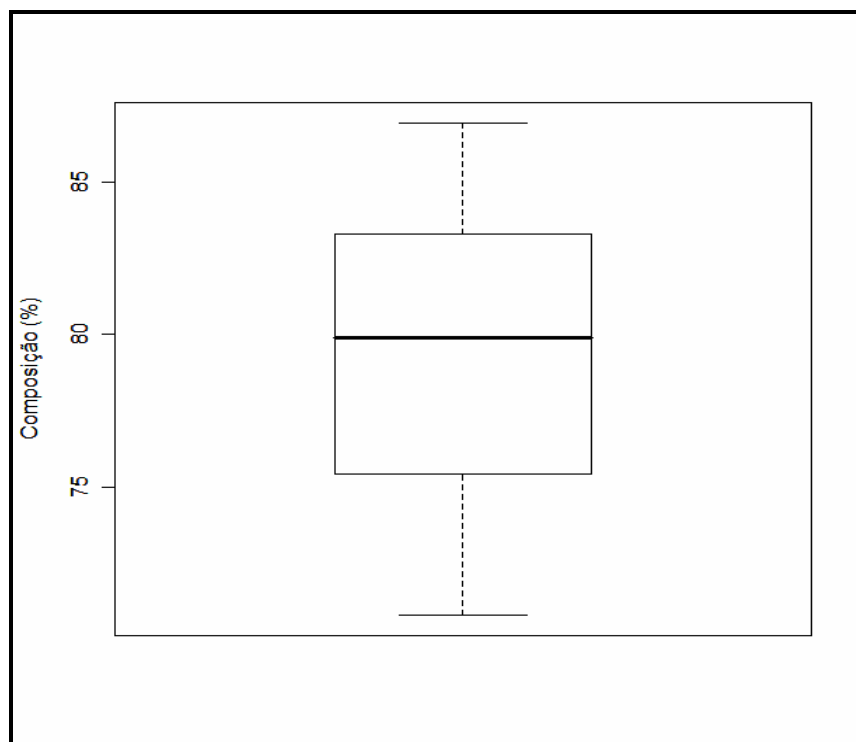


Figura 5.4: *Box-plot* das composições da Classe A nas 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES**

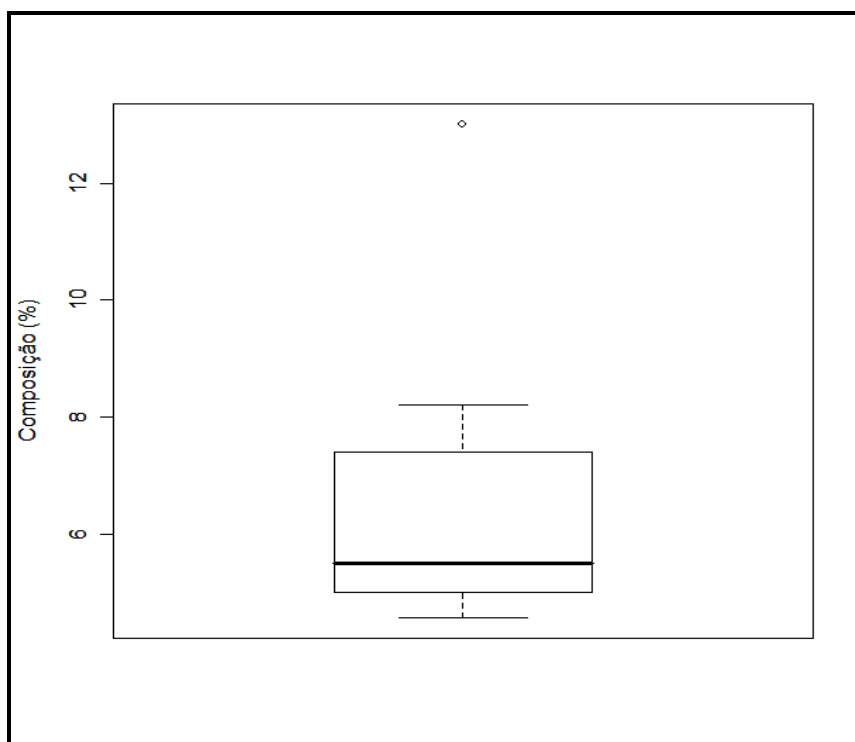


Figura 5.5: *Box-plot* das composições da Classe B nas 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES**

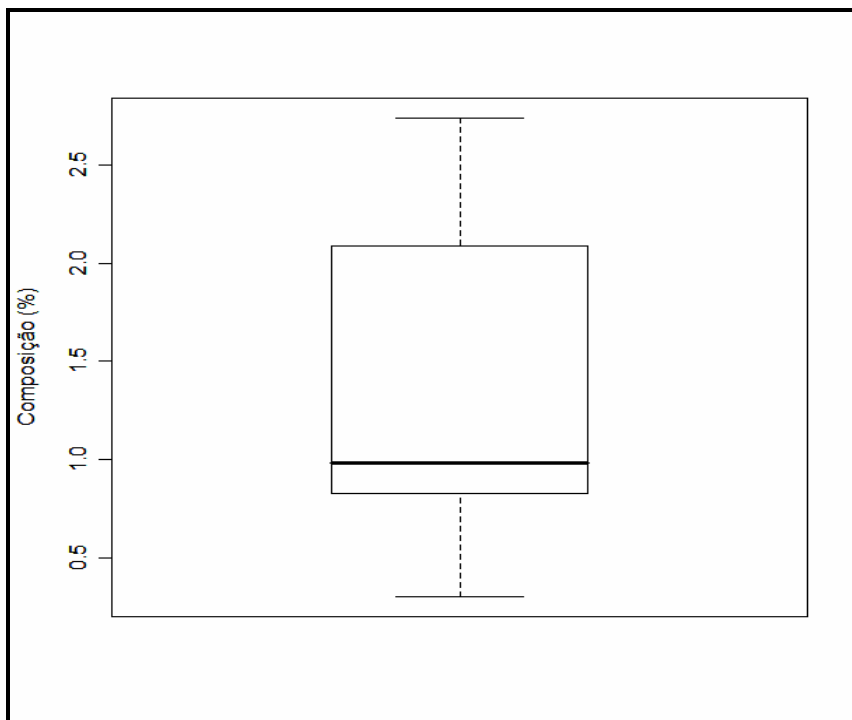


Figura 5.6: *Box-plot* das composições da Classe C nas 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES**

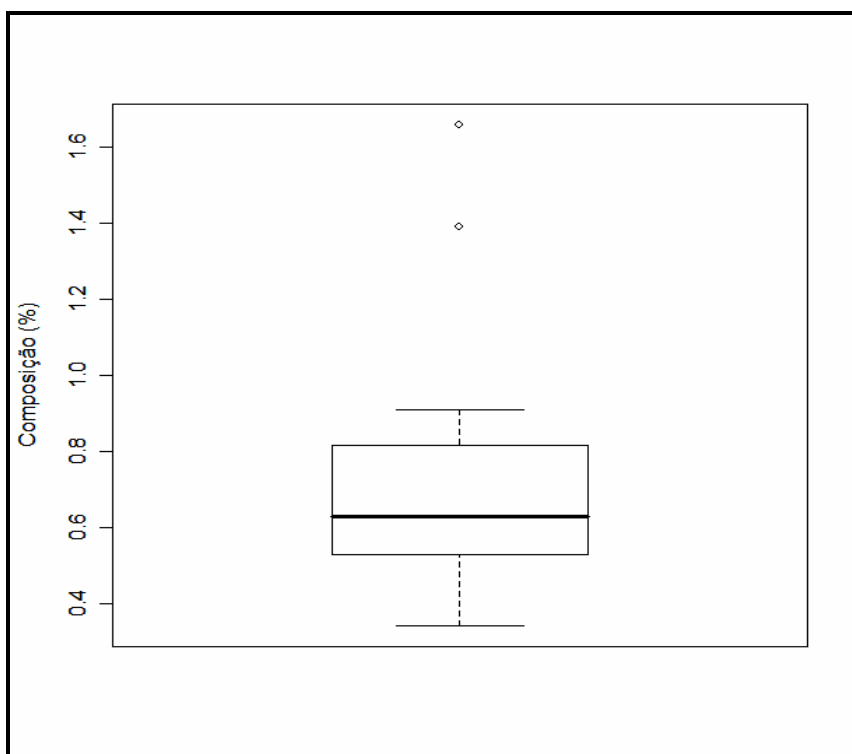


Figura 5.7: *Box-plot* das composições da Classe D nas 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES**

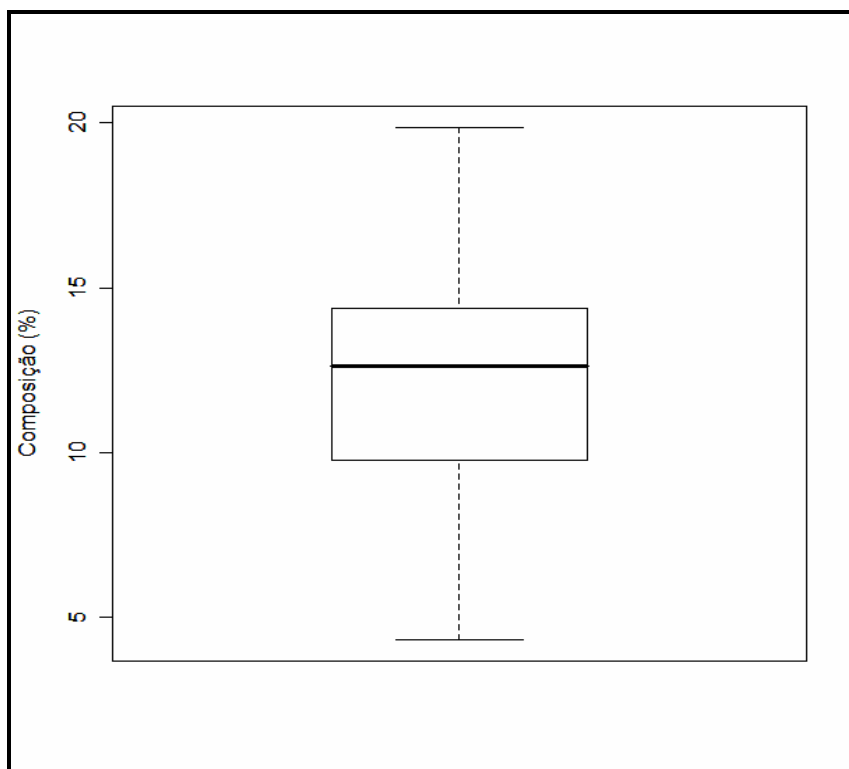


Figura 5.8: *Box-plot* das composições da Classe Resíduos volumosos nas 12 (doze) amostras compostas de **ENTUV-ES**

Ao se analisar os *Box-plot's* das figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8, verifica-se que as classes B e D apresentaram resultados de percentuais em peso nas amostras compostas de **ENTUV-ES** discrepantes em relação aos outros resultados obtidos. A Classe B apresentou somente 01 (um) resultado discrepante, sendo ele ocorrido na amostra AEV7 (13,01%). Já a Classe D teve 02 (dois) resultados discrepantes, com valores de 1,66% (AEV5) e 1,39% (AEV12).

As classes A, C e de Resíduos volumosos não apresentaram resultados de percentuais em peso nas amostras compostas de **ENTUV-ES** discrepantes em relação aos outros resultados obtidos.

Em relação à simetria dos resultados de percentuais em peso, as classes B, C e D demonstraram assimetria positiva, com valores dispersando nos resultados maiores que a mediana, e as classes A e de Resíduos volumosos, apresentaram assimetria negativa, com valores com dispersão predominante menores que a mediana.

Na Tabela 5.4 apresentam-se as médias aritméticas, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a mediana das composições gravimétricas das amostras compostas de **ENTUV-ES**.

Tabela 5.4: Tratamento estatístico da composição gravimétrica

Classe	Grupo	Média aritmética (%)	Desvio padrão (%)	Coef. De variação (%)	Mediana (%)
A	1. solo e areia	31,91%	5,17%	16,21%	32,47%
	2. cerâmica branca	0,21%	0,33%	155,44%	0,03%
	3. cerâmica vermelha	8,28%	1,65%	19,88%	8,15%
	4. asfalto	0,29%	0,60%	208,78%	0,02%
	5. concreto simples	9,61%	3,44%	35,84%	9,06%
	6. concreto armado	0,48%	0,90%	187,45%	0,00%
	7. argamassa	17,96%	4,16%	23,15%	18,33%
	8. rocha e brita	3,44%	1,52%	44,31%	3,48%
	9. outros	7,05%	1,45%	20,59%	7,17%
	Total da classe	79,23%	5,23%	6,60%	79,90%
B	10. metais ferrosos	0,32%	0,36%	112,12%	0,20%
	11. metais não-ferrosos	0,00%	0,00%	280,20%	0,00%
	12. plástico	1,20%	0,46%	37,86%	1,16%
	13. papel	0,35%	0,18%	50,23%	0,39%
	14. papelão	0,29%	0,18%	63,68%	0,30%
	15. madeira	3,83%	1,92%	49,99%	3,05%
	16. borracha	0,10%	0,08%	81,53%	0,08%
	17. vidro	0,36%	0,23%	65,41%	0,28%
Total da classe	6,46%	2,38%	36,85%	5,50%	
C	18. gesso	0,80%	0,63%	77,83%	0,60%
	19. espuma, couro e tecido	0,55%	0,60%	110,25%	0,42%
	Total da classe	1,35%	0,78%	57,64%	0,98%
D	20. borras ou embalagens de tintas	0,08%	0,13%	165,08%	0,02%
	21. líquidos ou embalagens de solventes	0,00%	0,00%	-	0,00%
	22. líquidos ou embalagens de óleos minerais	0,01%	0,02%	346,41%	0,00%
	23. lâmpadas fluorescentes	0,00%	0,00%	-	0,00%
	24. amianto	0,67%	0,38%	57,03%	0,61%
Total da classe	0,75%	0,39%	52,41%	0,63%	
Resíduos volumosos	25. podas de árvores e vegetais	11,89%	3,87%	32,54%	12,06%
	26. móveis usados	0,32%	0,85%	262,93%	0,00%
	Total da classe	12,21%	4,05%	33,15%	12,63%

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5.4, os grupos 1, 3, 5, 7, 8, 9, 12, 15 e 25 demonstraram coeficiente de variação menor que 50% e, desta forma, as médias destes grupos representam de forma confiável os

valores de composição destes materiais nas amostras de compostas de **ENTUV-ES**. As porcentagens dos grupos restantes apresentaram alta dispersão, com coeficiente de variação maior que 50% e, com isso, os valores de mediana representam, de forma melhor que a média aritmética, as composições destes materiais presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES**.

As porcentagens totais das classes A, B e de Resíduos volumosos, de acordo com a Tabela 5.4, apresentaram coeficiente de variação, respectivamente, de 6,60%, 36,85% e 33,15%. Todos esses valores são inferiores à 50% o que se justifica o uso das médias aritméticas para a representação das porcentagens destas classes.

A Classe C e D, conforme Tabela 5.4, demonstraram coeficiente de variação de 57,64% e 52,41%, respectivamente. Com estes coeficientes de variação, conclui-se que as composições destas classes possuem alta dispersão entre si, sendo mais viável a adoção da mediana como medida para representar as mesmas.

Como apresentado na Tabela 5.4, nota-se que a porcentagem em peso total média dos grupos “5.concreto simples”, “6.concreto armado” e “7.argamassa” é estimada 27,96%, valor este bem inferior aos encontrados por *Carneiro et al.* (2001) e por *Pinto* (2006) para concreto e argamassa em seus estudos de composição gravimétrica.

Na Tabela 5.5 apresentam-se as medidas representativas das porcentagens das classes e a estimativa de disponibilidade quantitativa mensal de cada uma, considerando-se uma geração de **ENTUV-ES** no mês de abril de 2007 de 7.066,40 toneladas.

Tabela 5.5: Porcentagens em peso de **ENTUV-ES** por classes

Classe	Porcentagem representativa	DQM (toneladas)
A	79,23%	5.598,80
B	6,46%	456,37
C	0,98%	69,13
D	0,63%	44,75
Resíduos volumosos	12,21%	862,70

DQM – Disponibilidade quantitativa mensal

A Figura 5.9 demonstra uma distribuição das proporções em peso por classe de **ENTUV-ES** em forma de um gráfico de “pizza”.

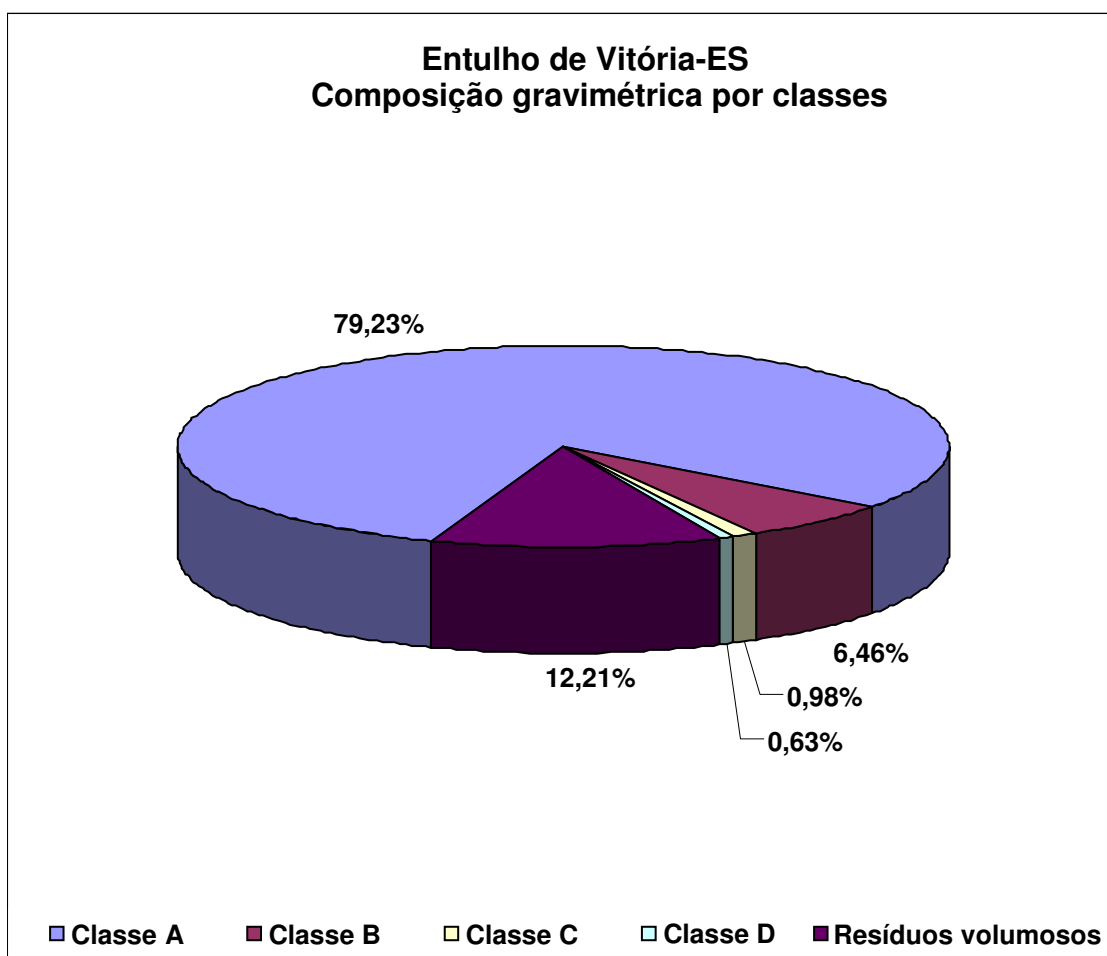


Figura 5.9: Composição gravimétrica por classes

Com os resultados apresentados na Tabela 5.5 e na Figura 5.9 pode-se descrever que, apesar de sua considerável geração e dos impactos negativos que o seu gerenciamento inadequado pode ocasionar, o **ENTUV-ES** possui grande potencial para a reutilização ou reciclagem. Os materiais com este potencial estão enquadrados nas Classes A, B e de Resíduos volumosos, em um total médio de 97,90% em peso. Com essa porcentagem e com uma geração de **ENTUV-ES** de 7.066,40 toneladas em abril de 2007, cerca de 6.917,9 toneladas dos materiais presentes neste resíduo sólido coletado pelo Serviço de Limpeza Pública neste mês são passíveis de reutilização ou reciclagem.

Destaca-se que, em média, 79,23% do peso total dos materiais presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES** são passíveis de utilização como agregados reciclados, desde que passem por processos de beneficiamento. Para o mês de abril de 2007 a disponibilidade destes materiais é estimada em 5.598,80 toneladas.

Em média, 6,46% em peso de todos os materiais presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES**, como os plásticos, papéis etc, podem ser utilizados para fins que não os agregados. No mês de abril de 2007 estima-se que a geração destes materiais esteve próxima à 456,37 toneladas.

Somente 0,98%, em média, em peso, num total de 69,13 toneladas estimado para o mês de abril de 2007, dos materiais presentes nas amostras compostas de **ENTUV-ES** não são passíveis de reutilização ou reciclagem, tais como gesso, tecido, couro ou espuma.

Em termos de riscos ao meio ambiente e saúde pública, em média, 0,63% em peso de todos os materiais encontrados nas amostras compostas de **ENTUV-ES** são perigosos. Essa quantidade de resíduos sólidos perigosos, estimada para o mês de abril de 2007 em 44,74 toneladas, necessita de maiores critérios em seu gerenciamento.

Os estudos realizados nas amostras coletadas demonstraram que os materiais enquadrados na Classe Resíduos volumosos possuem considerável influência na composição gravimétrica do **ENTUV-ES**, sendo esta classe a segunda maior contribuinte na geração deste resíduo sólido, perfazendo uma porcentagem em peso média de 12,21%. As podas de árvore e vegetais e os móveis usados, se triturados a tamanho adequado, podem ser utilizados em pilhas de compostagem como materiais de fonte de carbono e estruturantes das mesmas. Ainda, as podas de árvore e os móveis usados, dependendo de sua combustibilidade e umidade, podem ser utilizados como fonte de energia para fornos ou caldeiras. Os móveis usados em bom estado podem ser reutilizados para o mesmo fim ou para fins diversos.

Apesar de todo o potencial que o **ENTUV-ES** possui para a reutilização ou reciclagem, os materiais que o formam devem ser segregados nas classes

apresentadas no Quadro 4.4 (Classe A, B, C, D e de Resíduos volumosos), buscando-se a maximização deste potencial. Neste contexto, seria interessante a ampliação da rede de Estações Bota-Fora no município de Vitória-ES, estações estas adaptadas para segregarem os resíduos sólidos recebidos nas referidas classes, pois a metodologia de remoção dos RCC's nos pontos viciados, devido à mistura de materiais, pode inviabilizar a reutilização ou reciclagem. Também, estas estações podem contribuir para a diminuição ou erradicação dos pontos viciados.

Ademais, estudos específicos de reutilização e reciclagem dos materiais presentes no **ENTUV-ES** devem ser realizados, pois com os resultados aqui apresentados não se pode afirmar que os mesmos, em termos técnicos e econômicos, podem possuir estas destinações.

5.3. ETAPA 03 – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO DE VITÓRIA-ES

5.3.1. Peso específico aparente

Tomando-se como base a metodologia apresentada no subitem 4.4.2, na Tabela 5.6 apresentam-se os pesos específicos aparentes das amostras de **AGRECV-ES**.

Tabela 5.6: Pesos específicos aparentes das amostras de **AGRECV-ES**

Amostra	Peso específico aparente (kg/m³)
AAR1	1.437,00
AAR2	1.440,50
AAR3	1.199,00
AAR4	1.174,00
AAR5	1.247,80
AAR6	1.218,00
AAR7	1.315,00
AAR8	1.189,00
AAR9	1.247,00
AAR10	1.308,75
AAR11	1.334,00
AAR12	1.309,00
Média aritmética	1.284,92
Desvio padrão	89,43
Coefficiente de variação	6,96%
Mediana	1.278,28

Como apresentado na Tabela 5.6, o coeficiente de variação dos pesos específicos aparentes das amostras de **AGRECV-ES** foi estimado em 6,96%, valor este consideravelmente baixo. A média aritmética ($1.284,92\text{kg/m}^3$) pode ser utilizada para representar os valores destes pesos específicos aparentes, pois este coeficiente se apresentou bem menor que 50%.

Considerando-se a estimativa geração em de abril de 2007 de Classe A e o peso específico aparente médio do **AGRECV-ES**, seria necessário um espaço de $4.357,31\text{ m}^3$ para armazenamento deste subproduto.

O gráfico *Box-plot* dos pesos específicos aparentes das amostras de **AGRECV-ES** apresenta-se na Figura 5.10.

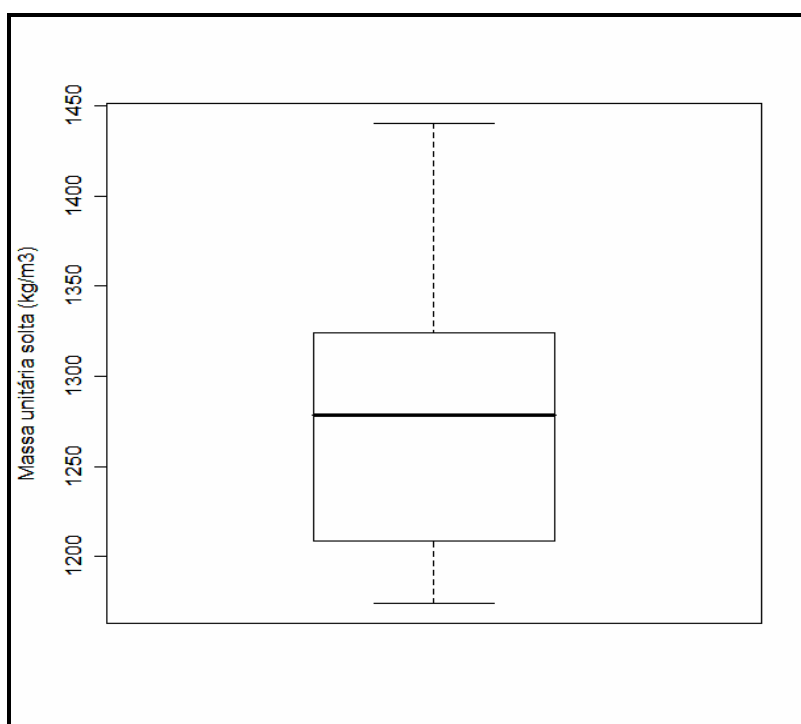


Figura 5.10: *Box-plot* dos pesos específicos aparentes das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**

No *Box-plot* da Figura 5.10 nota que nenhum resultado de peso específico aparente das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES** se mostrou discrepante. A distribuição destes resultados apresentou assimetria negativa, com valores dispersando para valores menores que a mediana ($1.278,78\text{ kg/m}^3$).

5.3.2. Classificação segundo a NBR 10.004:2004

A partir da Figura 3.1, que apresentou o fluxograma de classificação da NBR 10.004:2004, nota-se que o processo de classificação quanto ao risco ao meio ambiente e a saúde pública inicia-se com a identificação das fontes geradoras do resíduo sólido. Sabendo-se origens, deve-se consultar os anexos A e B da NBR 10004:2004, buscando enquadrar os resíduos sólidos em alguma das fontes descritas. Neste trabalho, as fontes geradoras, apresentadas no subitem 5.5.1, não constam no anexo B da NBR 10.004:2004. Ainda, no anexo A não foi identificado nenhuma resíduo sólido que fosse equivalente ao **AGRECV-ES**.

Posteriormente, conforme a NBR 10.004:2004, deve-se analisar se o resíduo sólido possui algumas das substâncias apresentadas nos anexos C, D e E da referida norma. As amostras de **AGRECV-ES** se tratavam de misturad de diversos materiais, tais como concreto, argamassa, cerâmica etc. Acredita-se que estes materiais não possuíam, em sua constituição, nenhuma das substancias listadas nestes anexos.

Não se enquadrando em nenhum dos anexos supracitados, o próximo passo é avaliar a possibilidade da existência de periculosidade no resíduo sólido em estudo. Existindo razões para considerá-lo perigoso, deve-se estudar os aspectos que conferem periculosidade ao resíduo sólido listados na NBR 10.004:2004 (corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade).

Não havendo razões para se considerar o resíduo sólido como perigoso, deve-se analisar a sua inerticidade. Verifica-se então se o mesmo é combustível ou biodegradável, não sendo, efetua-se ensaios de solubilização de acordo com a NBR 10.006:2004.

Devido às características do **AGRECV-ES**, neste trabalho foi avaliada a periculosidade e a inerticidade deste subproduto. Os aspectos de periculosidade nos quais foram realizados testes para as suas análises foram a corrosividade, a reatividade e a toxicidade. Para a inerticidade foi analisada a solubilidade em água dos constituintes presentes nestas amostras.

Em relação ao aspecto patogenicidade, acredita-se que as amostras de **AGRECV-ES** em estudo apresentam organismos patogênicos em níveis muito baixos, configurando-as, desta forma, como não patogênicas.

Quanto ao aspecto reatividade, foi observado, em campo e em laboratório, que as amostras de **AGRECV-ES** não apresentam reações quando em contato com a água, instabilidade e reação de forma violenta e imediata e não geraram gases, vapores e fumos tóxicos quando misturadas em água. Sendo assim, as amostras de **AGRECV-ES** foram caracterizadas como não reativas.

Para avaliação do aspecto de toxicidade foram realizados testes de lixiviação. A toxicidade das amostras de **AGRECV-ES** não foi avaliada através dos testes em organismos superiores (DL₅₀ oral ratos, CL₅₀ inalação ratos e DL₅₀ dérmica coelhos), pois estes não são rotineiramente realizados no país.

Ademais, as amostras de **AGRECV-ES**, devido às suas características explícitas, foram caracterizadas como não inflamáveis, não biodegradáveis e não combustíveis.

A seguir serão apresentados os resultados das avaliações dos aspectos de corrosividade, toxicidade e inerticidade das amostras de **AGRECV-ES** e um resumo da classificação deste subproduto.

CORROSIVIDADE

A partir da metodologia descrita no subitem 4.4.3, na Figura 5.11, apresentam-se os resultados obtidos para o parâmetro pH nas 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**. O intervalo compreendido entre as linhas em negrito (entre 2 e 12,5) indica os limites nos quais o resíduo sólido é caracterizado como não corrosivo, segundo critérios descritos na NBR 10.004:2004.

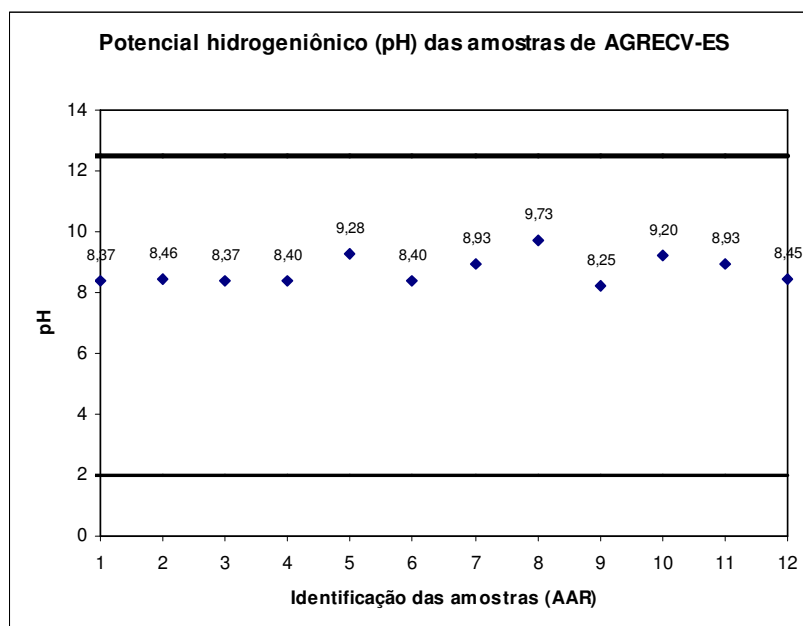


Figura 5.11: Resultados das análises de pH encontrados nas amostras de **AGRECV-ES**

Na Figura 5.11 é observado que as amostras de **AGRECV-ES** apresentaram solução em água com pH variando entre 8,25 (AAR9) e 9,73 (AAR8), configurando as mesmas como básicas ($\text{pH} > 7$). Com estes resultados, as amostras de **AGRECV-ES** podem ser caracterizadas como não corrosivas, pois, como estabelecido na NBR 10.004:2004, a sua misturas com água, na proporção de 1:1 em peso, produziram soluções que não apresentaram pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5. Sendo assim, considerando os estudos realizados nas amostras aqui coletadas, o **AGRECV-ES** pode ser caracterizado como não corrosivo.

TOXICIDADE

Nos experimentos realizados nesta dissertação, conforme apresentado no Quadro 4.9, foram determinadas as concentrações dos seguintes constituintes nos extratos lixiviados obtidos das amostras de **AGRECV-ES**: Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se e Fluoretos. Seguindo a metodologia do subitem 4.4.3, na Tabela 5.7 apresentam-se as concentrações destes constituintes nos extratos lixiviados obtidos das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**.

Tabela 5.7: Resultados das concentrações de constituintes nos extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES**

Parâmetro	LDM (mg/l)	LMP Anexo F NBR 10.004 (mg/l)	Concentração no lixiviado de cada amostra de AGRECV-ES (mg/l)											
			AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM11	AM12
Arsênio	0,01	1,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Bário	0,005	70,0	0,382	0,35	0,343	0,314	0,286	0,401	1,11	0,409	0,325	0,292	1,3	1,12
Cádmio	0,001	0,5	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,022	<0,001	<0,001	0,002	0,008	0,008
Chumbo	0,01	1,0	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,17	0,01	0,01	0,01	0,1	0,11
Cromo Total	0,01	5,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,07
Fluoretos	0,1	150	0,35	0,19	0,34	0,48	0,42	0,23	0,52	0,58	0,3	0,29	<0,1	0,54
Mercúrio	0,0002	0,1	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Prata	0,01	5,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Selênio	0,01	1,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

LDM - Limite de Detecção do Método; LMP - Limite Máximo Permitido

Os resultados apresentados na Tabela 5.7 demonstram que nenhum parâmetro analisado nos extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES** apresentou concentrações superiores aos limites máximos estabelecidos na NBR 10.004:2004 em seu anexo G. Ademais, as concentrações se mostraram bem abaixo do LMP, com situações de alguns parâmetros não serem detectados nos extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES**. Sendo assim, o **AGRECV-ES** pode ser caracterizado, a partir de análises destas amostras, como não tóxico.

Um total 100% das amostras de **AGRECV-ES** apresentaram, nos extratos lixiviados, concentrações abaixo do LDM nos parâmetros As, Hg, Ag e Se.

O parâmetro Cr apresentou concentrações menores que o LDM (0,01 mg/l) em 75% dos extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES**. As concentrações que estiveram acima do LDM apresentaram valores bem menores que o LMP (5,0 mg/l).

As concentrações do parâmetro Cd estiveram abaixo do LDM (0,001 mg/l) em 50% dos extratos lixiviados (06 extratos) das amostras de **AGRECV-ES** e os valores que deram acima mostraram-se bem menores que o LMP (0,5 mg/l).

Somente 01 (uma) das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES** apresentou concentrações de fluoretos no extrato lixiviado abaixo do LDM (0,1 mg/l). Contudo, os resultados que deram acima do LDM se mostraram bem abaixo do LMP (150 mg/l), numa ordem de grandeza de 259 vezes menor no máximo.

O parâmetro Pb apresentou concentrações iguais ou superiores ao LDM (0,01 mg/l) em 11 (onze) dos 12 (doze) extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES**, com valores muito abaixo do LMP (1,0 mg/l).

O parâmetro Ba, apesar de apresentar valores maiores que o LDM (0,005 mg/l) em todas as amostras de **AGRECV-ES**, demonstrou concentrações no extrato lixiviado da ordem de no máximo 54 vezes menor que o LMP (70,0 mg/l).

INERTICIDADE

Para avaliação da inerticidade das amostras de **AGRECV-ES**, devido as características deste subproduto, nesta dissertação foram determinadas as concentrações médias nos extratos solubilizados dos parâmetros Ag, As, Al,

Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Na, Pb, Se, Zn, cianeto, cloreto, fenol, fluoreto, nitrato, sulfato e surfactantes. Na Tabela 5.8 apresentam-se as concentrações destes parâmetros nos extratos solubilizados obtidos das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**, de acordo com a metodologia descrita no subitem 4.4.3.

Tabela 5.8: Resultados das concentrações de constituintes nos extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES**

Parâmetro	LDM (mg/l)	LMP Anexo G NBR 10.004 (mg/l)	Concentração média por amostra (mg/l)											
			AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	AM9	AM10	AM 11	AM 12
Arsênio	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Alumínio	0,05	0,2	0,07	<0,05	0,06	0,165	0,095	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	0,26	<0,05	0,08
Bário	0,005	0,7	0,0185	0,037	0,0185	0,0235	0,016	0,0265	0,0375	0,0355	0,063	0,0335	0,0335	<0,005
Cádmio	0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cianeto	0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cloreto	2,0	250,0	74,5	53	77,5	137	124	77	64	34,5	53,5	34	26	46,5
Cobre	0,01	2,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo Total	0,01	0,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fenóis Totais	0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ferro	0,05	0,3	<0,05	<0,05	<0,05	0,055	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoretos	0,1	1,5	0,38	0,33	0,36	0,48	0,41	0,325	0,44	1,2	0,48	0,295	0,23	0,36
Manganês	0,02	0,1	0,195	0,18	<0,02	<0,02	0,1	0,145	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,15
Mercúrio	0,0002	0,001	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Nitrato	0,05	10,0	2,57	<0,05	6,545	14,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Prata	0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Selênio	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sódio	0,05	200,0	45,55	27,2	42,2	80,4	73,8	30,65	33,15	18,2	25,85	19,3	16,65	34,8
Sulfato	1,0	250,0	225,5	485	277	417	675	311	197	279,5	442,5	278	232	334
Surfactantes	0,1	0,5	0,215	0,2	0,215	0,265	0,27	0,165	0,175	0,21	0,16	0,15	0,13	0,18
Zinco	0,01	5,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

LDM - Limite de Detecção do método; LMP - Limite Máximo Permitido; Fonte na cor vermelha – Acima do LMP da NBR 10.004:2004

Observa-se na Tabela 5.8 que os parâmetros Ar, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ag, Se, cianeto e fenóis totais mostraram-se com concentrações abaixo do limite de detecção do método em 100% dos extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES**. Os parâmetros Fe e Zn apresentaram concentrações nos extratos solubilizados abaixo do limite de detecção do método em 11 (onze) das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**.

Todos os extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES** apresentaram concentrações dos parâmetros Ar, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Hg, Ag, Se, Na, Zn, cianeto, cloreto, fenóis totais, fluoretos, surfactantes deram abaixo dos limites máximos permitidos pela NBR 10.004:2004 em seu anexo G.

O parâmetro Al apresentou na amostra AM10 concentração de 0,26 mg/l no extrato solubilizado, valor este superior ao limite máximo permitido no anexo G da NBR 10.004:2004 (0,2 mg/l). Contudo, o valor da concentração de Al no extrato solubilizado se mostrou próxima ao limite estabelecido pela NBR 10.004:2004. As outras 11 (onze) amostras apresentaram concentrações de Al nos extratos solubilizados inferiores ao LMP.

Em 04 (quatro) dos 12 (doze) extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES**, o parâmetro Mn se mostrou acima do LMP (0,1 mg/l). Apesar disto, 07 (sete) dos 12 (doze) extratos solubilizados apresentaram concentrações deste parâmetro menores que o LDM (0,02 mg/l).

Casarini et al. (2001) estabeleceram valores de referência de qualidade para a avaliação dos graus de poluição do solo e das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, criando, com isso, critérios e padrões para o controle da presença de metais e substâncias orgânicas nestes meios. Os autores apresentaram uma lista de valores de concentrações de referência para alguns parâmetros. Nesta lista não são apresentados valores de concentrações de alumínio, ferro e manganês, pois, segundo informações dos autores, estes metais encontram-se naturalmente nos solos tropicais em altas concentrações, não podendo, desta forma, ser utilizados como parâmetros para a avaliação de graus de poluição do solo e das águas subterrâneas.

A solubilização simula o desprendimento de constituintes numa situação de chuva não ácida. As análises dos parâmetros do anexo G da NBR 10.004:2004 indicam a possibilidade de desprendimento destes constituintes em ambiente natural, podendo ocasionar a contaminação do solo ou de recursos hídricos. Fazendo-se analogia do parágrafo anterior com uma disposição final do **AGRECV-ES** em um aterro de resíduos sólidos, pode-se descrever que os parâmetros alumínio, ferro e manganês podem não ser bons indicadores de contaminação do solo ou de recursos hídricos próximos, devendo-se avaliar, nos testes de solubilização, outros parâmetros pertinentes.

A concentração do parâmetro nitrato se mostrou superior ao LMP da NBR 10.004:2004 (10,0 mg/l) na amostra AM4, com valor de 14,1 mg/l. O solo e a areia presentes nas amostras de **AGRECV-ES**, pelo **ENTUV-ES** possuir como uma das fontes geradoras a limpeza de logradouros públicos, podem conter matéria orgânica em concentrações consideráveis. O nitrato presente na composição química dos RCC's é proveniente de rejeitos sanitários (CARNEIRO et al., 2001), pois esta matéria orgânica sofrendo processos de decomposição microbiana pode produzir este ânion, dentre outras coisas. Ainda, *Silva & Arnosti Jr.* (2006) afirmam que este parâmetro pode ser também originário da ação de bactérias nitrificantes que encontram no RCC's ambientes favoráveis para a transformação de amônio (NH_4^+) em nitrito (gênero nitrosomonas) e de nitrito para nitrato (gênero nitrobacter). Estes fatos podem ter influenciado nas concentrações do parâmetro nitrato no extrato solubilizado da amostra AM4.

No material pertencente ao grupo "1.solo e areia", devido a grande dificuldade de seleção manual, os materiais de gesso não foram retirados. Segundo *Petrucci* (1982), na fabricação do gesso utiliza-se uma única matéria prima, a gipsita, um sulfato de cálcio com duas moléculas de água ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que é acompanhado geralmente de impurezas não ultrapassando 6%.

Em 75% dos extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES** a concentração do parâmetro sulfato apresentou resultado superior ao LMP (250,0 mg/l). A presença da fração de gesso no grupo "1.solo e areia" pode ter contribuído para essas concentrações de sulfato acima do LMP.

Na Figura 5.12 apresentam-se o percentual de extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES** com concentrações superiores aos limites máximos permitidos no Anexo G da NBR 10.004:2004.

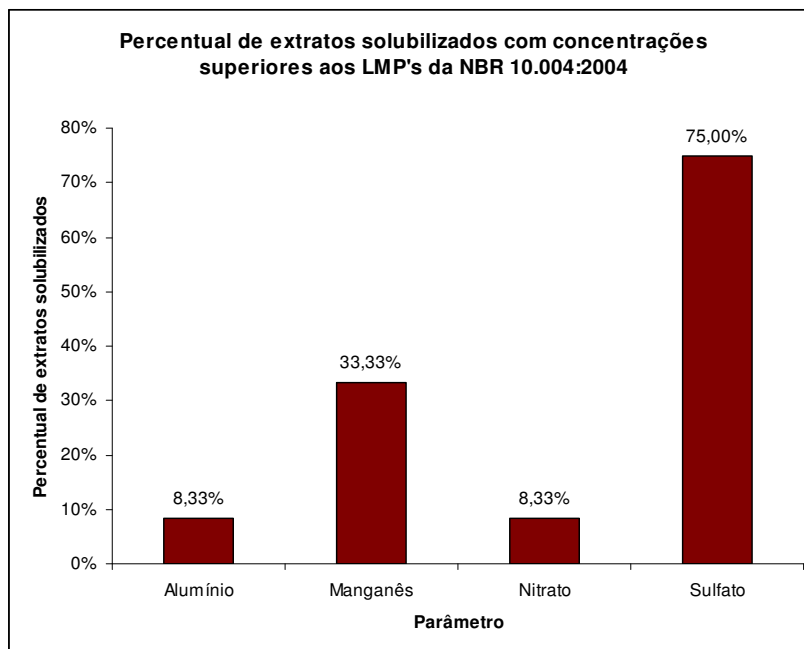


Figura 5.12: Percentual de extratos solubilizados com concentrações superiores aos LMP's da NBR 10.004:2004

Como observado na Figura 5.12, os parâmetros que contribuíram para a não inerticidade de amostras de **AGRECV-ES** foram Al, Mn, nitrato e sulfato. Como discutido anteriormente, o Al e o Mn são encontrados naturalmente em solos tropicais, e a sua presença em extratos solubilizados de resíduos sólidos, dependendo de suas concentrações, podem não ser bons indicadores de contaminação de recursos geológicos ou hídricos. O parâmetro nitrato foi encontrado em concentrações em apenas 8,33% das amostras de **AGRECV-ES**. Já o parâmetro sulfato se mostrou o mais representativo na não inerticidade destas amostras e ações de retirada do gesso em meio aos RCC's de Classe A encontrados no **AGRECV-ES** podem contribuir para que este subproduto venha a ser caracterizado como inerte.

As amostras AM7 e AM11 não apresentaram concentrações dos parâmetros acima dos limites máximos permitidos pela NBR 10.004:2004. Sendo assim, estas amostras podem ser caracterizadas como inertes, segundo os critérios da NBR 10.004:2004. O restante das amostras apresentaram pelo menos um

parâmetro acima do limite máximo permitido pela referida norma, configurando-as como não inertes. Na Figura 5.13 apresenta-se um gráfico de “pizza” com as proporções das amostras de **AGRECV-ES** inertes ou não inertes.

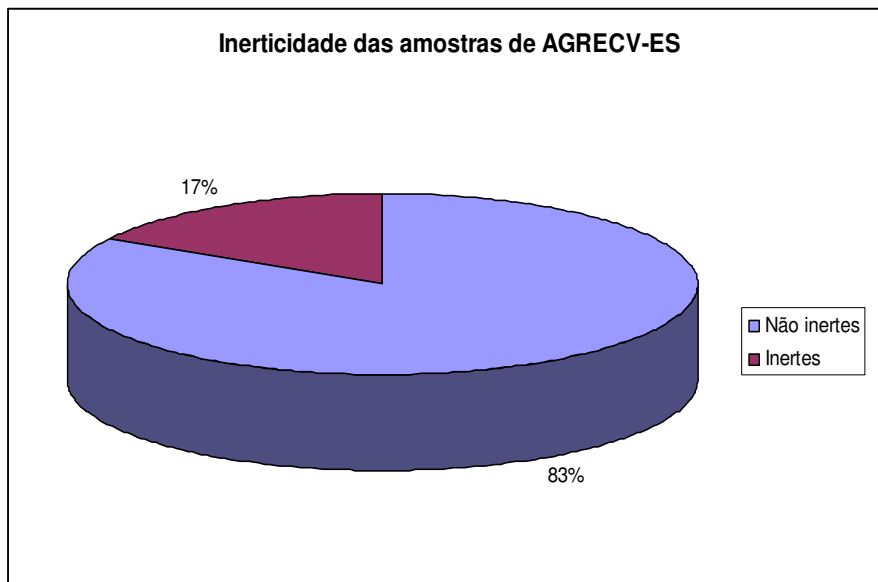


Figura 5.13: Proporção de amostras de **AGRECV-ES** inertes ou não inertes

Na Figura 5.14, por sua vez, apresenta-se um gráfico de “barras” com a porcentagem dos parâmetros que apresentaram concentrações iguais ou inferiores aos limites máximos permitidos pela NBR 10.004:2004 no extrato solubilizado de cada amostra de **AGRECV-ES**.

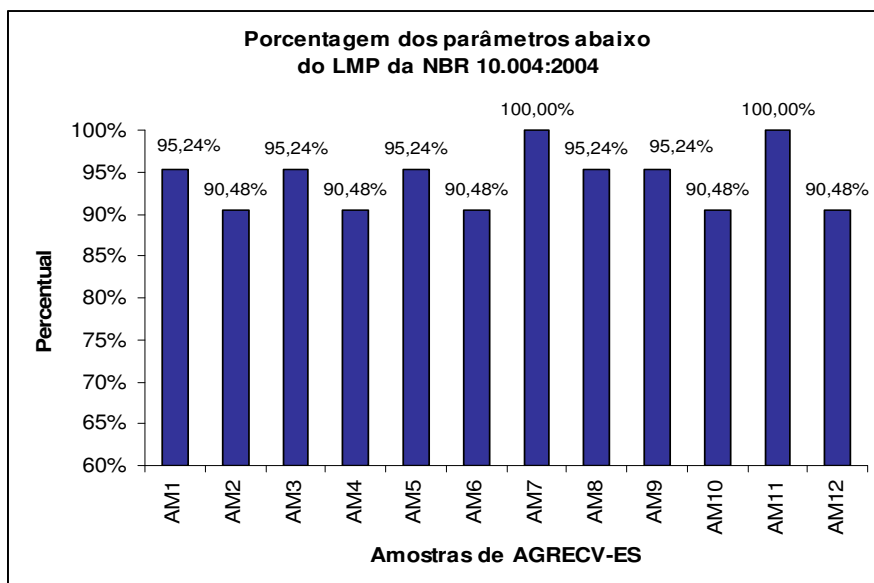


Figura 5.14: Percentual dos parâmetros que apresentaram concentrações iguais ou inferiores ao LMP da NBR 10.004:2004 em cada amostra de **AGRECV-ES**

Analisando-se os resultados apresentados nas figuras 5.13 e 5.14, destaca-se que apesar de grande parte das amostras de **AGRECV-ES** terem sido caracterizadas como não inertes (num total de cerca de 83%), a maioria dos parâmetros analisados nos extratos solubilizados apresentaram concentrações iguais ou inferiores aos limites máximos permitidos pela NBR 10.004:2004 em seu anexo G, com percentuais variando entre 90,48% e 100% nas amostras.

A NBR 10.004:2004 preconiza que se um resíduo sólido quando submetido a testes de solubilização, conforme a NBR 10.006:2004, apresentar um de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos limites estabelecidos em seu anexo G, o mesmo é caracterizado como não inerte. Sendo assim, como 10 (dez) das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES** apresentaram em seus extratos solubilizados pelo menos 01 (um) parâmetro com concentrações acima destes limites, este subproduto pode ser caracterizado como não inerte.

RESUMO DOS ESTUDOS DE CLASSIFICAÇÃO E SUBSÍDIOS PARA O GERENCIAMENTO

A partir dos resultados e discussões do subitem 5.3.2, em relação à periculosidade do **AGRECV-ES**, este subproduto foi caracterizado como não corrosivo, não inflamável, não patogênico, não reativo e não tóxico. Com isso, considerando os critérios da NBR 10.004:2004, o **AGRECV-ES** é classificado como Classe II (não perigoso).

Em termos de inerticidade, com os resultados e as discussões do subitem 5.3.2, o **AGRECV-ES** pode ser caracterizado como não combustível, não biodegradável e solúvel em água. Sendo assim, este subproduto pode ser classificado, segundo as diretrizes da NBR 10.004:2004, como Classe IIA (não inerte).

Sendo o **AGRECV-ES** classificado como Classe IIA (não inerte), este subproduto deverá ser armazenado conforme a NBR NBR 11.174:1990 – “Armazenamento de resíduos classe II-não inertes e III-inertes”. O aterro para a sua disposição final deverá ser concebido de acordo com a NBR 13.896:1997 –

“Aterros de resíduos não perigosos-Critérios para projeto, implantação e operação”.

No Quadro 5.1 é apresentado um resumo dos resultados obtidos na fase de classificação do **AGRECV-ES** e nos estudos de caracterização ambiental desenvolvidos por *Carneiro et al.* (2001). Neste quadro foi considerado como não inerte o parâmetro que apresentou pelo menos 01 (um) extrato solubilizado com concentração superior ao limite máximo permitido pela NBR 10.004:2004.

Quadro 5.1: Resumo dos estudos de classificação do **AGRECV-ES**

Parâmetro	Teste ou análise					
	Corrosividade		Lixiviação		Solubilização	
	Este trabalho	<i>Carneiro et al.</i> (2001)	Este trabalho	<i>Carneiro et al.</i> (2001)	Este trabalho	<i>Carneiro et al.</i> (2001)
Arsênio	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Alumínio	-	-	NA	NA	Não inerte	NA
Bário	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Cádmio	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Chumbo	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Cianeto	-	-	NA	NA	Inerte	NA
Cloreto	-	-	NA	NA	Inerte	NA
Cobre	-	-	NA	NA	Inerte	Inerte
Cromo Total	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	NA
Fenóis Totais	-	-	NA	NA	Inerte	NA
Ferro	-	-	NA	NA	Inerte	Inerte
Fluoretos	-	-	Não tóxico	NA	Inerte	NA
Manganês	-	-	NA	NA	Não inerte	Inerte
Merúrio	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Nitrato	-	-	NA	NA	Não inerte	NA
Prata	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Selênio	-	-	Não tóxico	Não tóxico	Inerte	Inerte
Sódio	-	-	NA	NA	Inerte	Inerte
Sulfato	-	-	NA	NA	Não inerte	NA
Surfactantes	-	-	NA	NA	Inerte	NA
Zinco	-	-	NA	NA	Inerte	Inerte
pH	Não corrosivo	NA	-	-	-	-

Dos resultados apresentados no Quadro 5.1, observa-se que os parâmetros Al, Mn, nitrato e sulfato na análise do extrato solubilizado atribuem ao **AGRECV-ES** em estudo a identificação de Classe IIA (não inerte).

Ao se comparar os resultados obtidos nesta dissertação e por *Carneiro et al.* (2001), verifica-se que dentre os parâmetros analisados em ambos estudos,

somente o parâmetro Mn se mostrou diferente entre os mesmos na caracterização de inerticidade. Nesta dissertação o parâmetro Mn, como discutido anteriormente, apresentou, em (04) quatro extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES**, concentrações superiores ao LMP (0,1 mg/l) estabelecido na NBR 10.004:2004. Já no estudo de caracterização ambiental realizado por *Carneiro et al.* (2001) não foram obtidas concentrações nos extratos solubilizados maiores que o LMP (0,1 mg/l) da NBR 10.004:1987.

5.3.3. Caracterização conforme a NBR NM 248:2001

De acordo com a metodologia descrita no subitem 4.4.4, apresentam-se, nas Tabelas 5.9 e 5.10, respectivamente, as porcentagens em peso retidas e retidas acumuladas da composição granulométrica das amostras de **AGRECV-ES**.

Tabela 5.9: Porcentagens retidas nas peneiras das séries normal e intermediária em cada amostra de **AGRECV-ES**

Peneira	Porcentagens retidas em cada peneira nas amostras de AGRECV-ES											
	AAR1	AAR2	AAR3	AAR4	AAR5	AAR6	AAR7	AAR8	AAR9	AAR10	AAR11	AAR12
75mm	14,77%	16,12%	11,73%	11,80%	25,08%	30,66%	33,69%	13,25%	21,63%	21,97%	15,63%	12,54%
63mm	5,85%	2,32%	3,85%	4,54%	6,22%	2,94%	3,60%	3,72%	1,56%	6,40%	4,47%	4,08%
50mm	7,27%	3,62%	6,17%	4,91%	4,18%	3,83%	4,54%	6,21%	3,48%	5,24%	4,12%	5,68%
37,5mm	6,94%	5,19%	7,06%	5,12%	6,23%	3,22%	5,16%	5,58%	4,36%	4,87%	6,43%	6,00%
31,5mm	5,93%	3,32%	6,93%	3,86%	4,74%	2,49%	4,34%	5,20%	4,73%	5,48%	4,83%	4,52%
25mm	5,65%	3,98%	6,65%	4,18%	5,03%	2,58%	3,68%	4,34%	4,28%	5,86%	4,67%	5,09%
19mm	3,27%	3,73%	5,12%	3,87%	3,96%	2,84%	3,20%	3,24%	3,56%	4,23%	4,36%	4,41%
12,5mm	4,41%	5,77%	6,44%	5,07%	5,30%	5,27%	4,48%	6,53%	6,33%	7,03%	6,29%	6,48%
9,5mm	2,61%	3,14%	3,07%	2,80%	2,71%	3,38%	2,44%	3,61%	3,34%	3,71%	3,58%	2,93%
6,3mm	3,22%	3,60%	3,67%	3,06%	3,25%	3,74%	2,18%	4,63%	2,56%	3,22%	3,33%	2,68%
4,75mm	1,84%	2,26%	2,29%	2,46%	2,13%	3,10%	1,49%	4,20%	1,95%	2,14%	2,12%	1,66%
2,36mm	4,39%	4,98%	3,72%	6,05%	2,84%	4,04%	3,11%	4,57%	3,30%	2,91%	3,69%	3,64%
1,18mm	6,24%	7,45%	4,99%	8,12%	4,18%	5,94%	5,28%	6,37%	6,18%	4,45%	6,06%	6,79%
600µm	12,59%	11,30%	8,48%	11,91%	7,18%	8,68%	7,89%	9,62%	11,09%	7,13%	9,47%	11,22%
300µm	8,99%	11,71%	8,96%	10,98%	7,77%	8,13%	7,19%	8,55%	10,48%	6,81%	9,66%	11,56%
150µm	3,68%	7,74%	6,98%	7,17%	6,09%	5,88%	5,00%	6,55%	7,03%	5,10%	7,52%	7,21%
Fundo	2,35%	3,77%	3,90%	4,11%	3,12%	3,27%	2,73%	3,83%	4,16%	3,45%	3,76%	3,50%

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5.9, nota-se que a peneira de abertura de malha de 75mm foi a que mais reteve materiais em 11 (onze) das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**. Estes materiais, compostos por pedaços de concreto e pedras de consideráveis tamanhos, apresentou grande variação em termos percentuais. Os materiais retidos na peneira 4,75mm apresentaram a menor porcentagem em peso em 10 (dez) das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 5.10, apresentam as curvas granulométricas das amostras de **AGRECV-ES**, na Figura 5.15, e as médias aritméticas, os desvios padrões e os coeficientes de variação, na Tabela 5.11, das porcentagens retidas acumuladas.

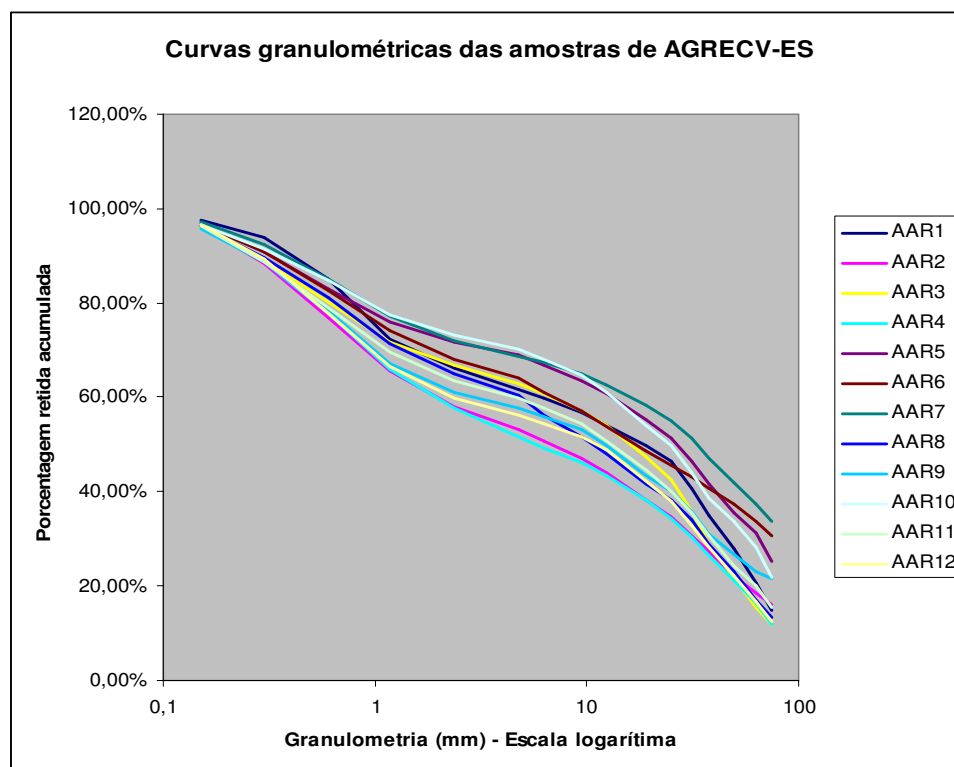


Figura 5.15: Curvas granulométricas das amostras de **AGRECV-ES**

Tabela 5.11: Tratamento estatístico das porcentagens retidas acumuladas das amostras de **AGRECV-ES**

Peneira	Média aritmética	Desvio padrão	Coefficiente de variação
75mm	19,07%	7,52%	39,41%
63mm	23,20%	7,54%	32,49%
50mm	28,14%	7,13%	25,32%
37,5mm	33,65%	6,76%	20,07%
31,5mm	38,35%	6,69%	17,44%
25mm	43,02%	6,69%	15,54%
19mm	46,83%	6,59%	14,07%
12,5mm	52,61%	6,39%	12,14%
9,5mm	55,72%	6,32%	11,34%
6,3mm	58,99%	6,18%	10,48%
4,75mm	61,29%	6,07%	9,90%
2,36mm	65,23%	5,37%	8,24%
1,18mm	71,23%	4,36%	6,11%
600 μ m	80,95%	3,07%	3,79%
300 μ m	90,18%	1,72%	1,90%
150 μ m	96,51%	0,55%	0,57%
Fundo	100,00%	0,00%	0,00%

Avaliando-se os coeficientes de variação apresentados na Tabela 5.11 e as curvas granulométricas plotadas na Figura 5.15, verifica-se que a dispersão entre as distribuições granulométricas das amostras de **AGRECV-ES** é maior quanto maior for a abertura de malha da peneira. A máxima dispersão entre as amostras de **AGRECV-ES** aconteceu entre os materiais de dimensão maior que 75mm, com coeficiente de variação de 39,41%.

Verifica-se nesta tabela que os coeficientes de variação não ultrapassaram o valor de 50%, o que justifica o uso das médias aritméticas para representar a porcentagem acumulada retida em cada peneira.

Ainda, verifica-se na Figura 5.15 que as curvas granulométricas das amostras de **AGRECV-ES** AAR2 e AAR4 são bastante semelhantes. Esta semelhança também é observada entre as amostras AAR5 e AAR10.

Os materiais com dimensões menores que 50mm foram estimados em 71,86% em peso, valor este bem próximo ao obtido por *Castro et al.* (1997), em estudo de caracterização granulométrica de RCC's gerados na cidade de São Paulo-SP, que foi de 80% em peso.

Enquadrando-se as amostras de **AGRECV-ES** nas faixas granulométricas utilizadas por *Carneiro et al.* (2001), nota-se que os resultados obtidos nesta dissertação não foram compatíveis aos encontrados por estes autores para materiais de grandes dimensões. *Carneiro et al.* (2001) obtiveram resultados em torno de 50% em peso de materiais maiores que 50mm nos RCC's de Salvador-BA. Nesta dissertação, os materiais com esta faixa granulométrica apresentaram, em média, 28,14% em peso.

Na Tabela 5.12 apresentam-se as porcentagens dos grupos de agregados reciclados em cada amostra de **AGRECV-ES**.

Tabela 5.12: Porcentagens de grupos de agregados reciclados por amostra de **AGRECV-ES**

Amostra de AGRECV-ES	Porcentagem em peso		
	Agregado reciclado miúdo (ARM)	Agregado reciclado graúdo (ARG)	Agregado reciclável passível de britagem (ARPB)
AAR1	38,24%	7,67%	54,09%
AAR2	46,95%	8,99%	44,05%
AAR3	37,02%	9,04%	53,94%
AAR4	48,33%	8,32%	43,35%
AAR5	31,18%	8,09%	60,73%
AAR6	35,96%	10,22%	53,82%
AAR7	31,21%	6,11%	62,68%
AAR8	39,49%	12,44%	48,07%
AAR9	42,22%	7,85%	49,93%
AAR10	29,84%	9,08%	61,08%
AAR11	40,15%	9,04%	50,81%
AAR12	43,92%	7,27%	48,80%
Média aritmética	38,71%	8,68%	52,61%
Desvio padrão	6,07%	1,59%	6,39%
Coefficiente de variação	15,68%	18,33%	12,14%
Mediana	38,86%	8,66%	52,32%

Verificando-se os resultados apresentados na Tabela 5.12, nota-se que todas as amostras de **AGRECV-ES** apresentaram o ARG como material de menor porcentagem, com valores variando entre 7,27% e 12,44%. O ARPB apresentou a maior porcentagem em peso em 10 (dez) das 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES**.

O ARM, ARG e ARPB apresentaram coeficientes de variação entre as amostras de **AGRECV-ES** menores que 50%, sendo eles, respectivamente, 15,68%, 18,33% e 12,14%, justificando, com isso, o uso de médias aritméticas para representar os percentuais destes grupos.

Os agregados reciclados passíveis de britagem (ARPB) demonstraram, em média, uma porcentagem de 52,61% em peso. Ainda, cerca de 47,39% em peso de todos os materiais presentes no **AGRECV-ES** necessitam somente de processos de peneiramento em usinas de produção de agregados reciclados. Para aumentar a proporção de materiais passíveis somente de peneiramento, seria necessária a separação dos pisos e azulejos cerâmicos dos outros materiais de Classe A.

Com uma geração de 5.598,80 toneladas de **AGRECV-ES** em abril de 2007, estima-se que 2.945,76 toneladas de materiais presentes neste subproduto seriam passíveis de britagem neste mês. O restante, estimado em 2.653,04 toneladas, necessitaria somente de processos de peneiramento para serem utilizados como agregados reciclados.

Nas figuras 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam, respectivamente, os gráficos *Box-plot's* dos grupos de agregados reciclados presentes as amostras de **AGRECV-ES**.

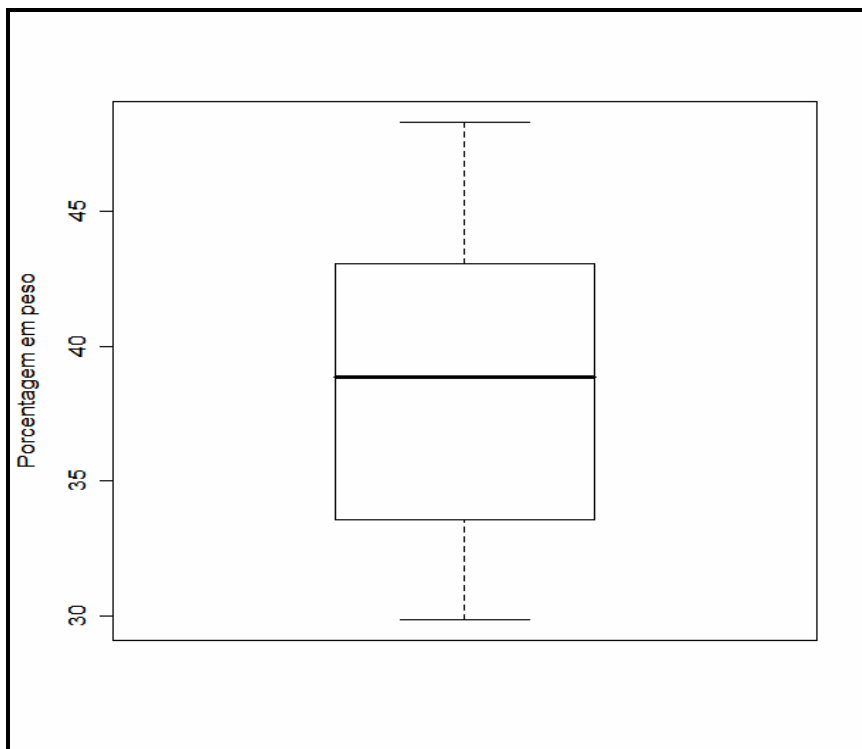


Figura 5.16: *Box-plot* das percentagens do grupo de agregados reciclados miúdos nas amostras de **AGRECV-ES**

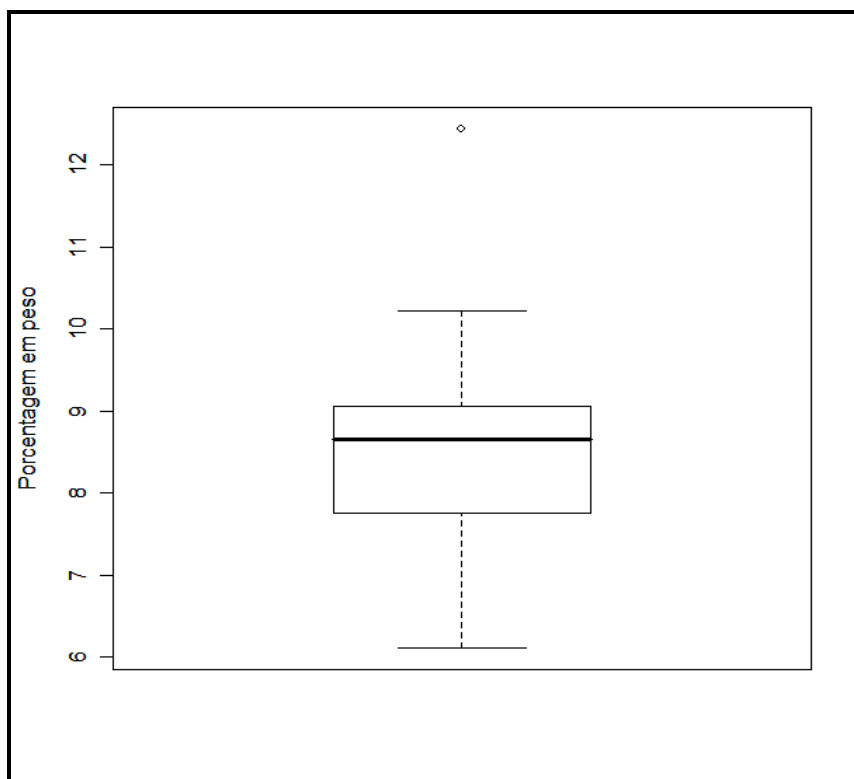


Figura 5.17: *Box-plot* das percentagens do grupo de agregados reciclados graúdos nas amostras de **AGRECV-ES**

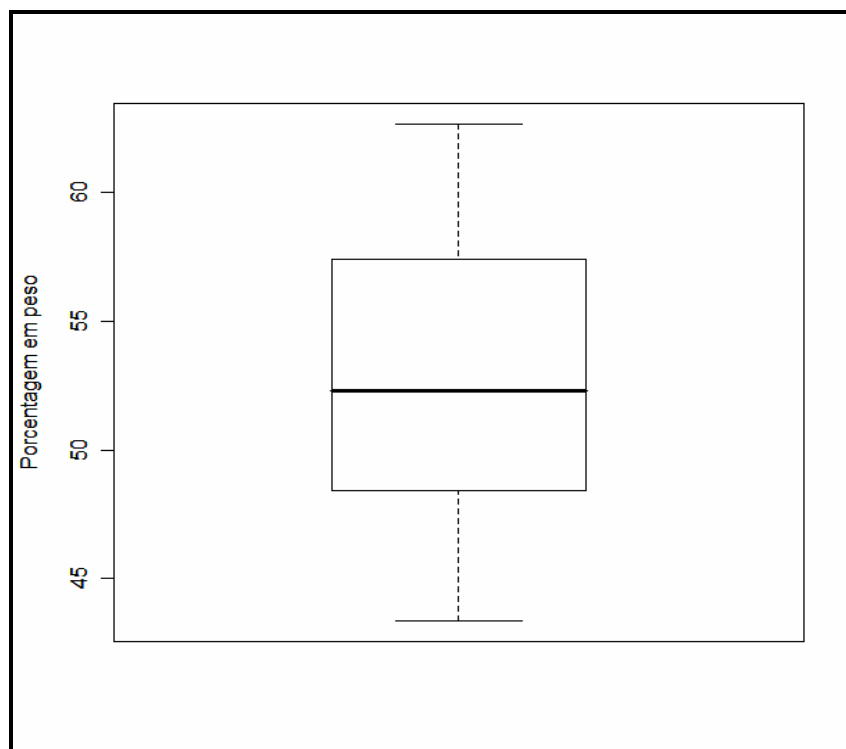


Figura 5.18: *Box-plot* das porcentagens do grupo de agregados reciclados passíveis de britagem nas amostras de **AGRECV-ES**

Analisando-se os *Box-plot's* das figuras 5.16, 5.17 e 5.18, nota-se que os grupos ARM e ARPB não apresentaram resultados de percentuais em peso nas amostras de **AGRECV-ES** discrepantes em relação aos outros resultados obtidos. O grupo ARG apresentou 01 (um) resultado discrepante, equivalente à porcentagem destes materiais na amostra de **AGRECV-ES** AAR8 (12,44%).

A distribuição das porcentagens dos *Box-plot's* dos grupos ARM e ARG demonstraram assimetria negativa, ou seja, os resultados se dispersaram para valores maiores que a mediana. O grupo ARPB apresentou assimetria positiva, com valores de porcentagens dispersando para resultados maiores que a mediana.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia aplicada nesta dissertação mostrou-se viável para o resíduo sólido em estudo, o Entulho de Vitória-ES (**ENTUV-ES**), podendo ser utilizada em materiais com características semelhantes.

Em relação aos indicadores de qualidade dos **ENTUV-ES**, obtidos a partir da caracterização deste resíduo sólido, os seguintes aspectos podem ser concluídos:

- O peso específico aparente médio do **ENTUV-ES** estimado foi de $660,40\text{kg/m}^3$, com valores variando nas amostras compostas entre $570,63\text{kg/m}^3$ e $779,00\text{kg/m}^3$;
- Na classificação segundo a Resolução CONAMA 307/02, a composição gravimétrica do **ENTUV-ES** apresentou percentuais médios em peso de 79,23% da Classe A, 6,46% da Classe B, 0,98% da Classe C, 0,63% da Classe D e 12,21% da Classe Resíduos volumosos;
- Apesar de sua considerável geração e dos problemas que o seu gerenciamento inadequado pode ocasionar, o **ENTUV-ES** possui alto potencial para a reutilização ou reciclagem, com uma porcentagem média em peso de 97,90% de materiais presentes neste resíduo sólido passíveis de terem estas destinações.

O Agregado Reciclado de Vitória-ES (**AGRECV-ES**) apresentou os seguintes indicadores de qualidade:

- O peso específico aparente médio foi de $1.284,92\text{kg/m}^3$, com valor mínimo de $1.199,00\text{kg/m}^3$ e máximo de $1.437,00\text{kg/m}^3$ nas amostras de **AGRECV-ES**;
- O **AGRECV-ES** foi classificado, segundo os critérios da NBR 10.004:2004, como Classe IIA (não inerte). Nos extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES** o sulfato foi o que mais contribuiu para a não inerticidade deste subproduto, parâmetro este originário de materiais de gesso;

- Na caracterização granulométrica do **AGRECV-ES**, desenvolvida conforme critérios da NBR NM 248:2001, verificou-se que a maior porcentagem dos materiais presentes neste subproduto necessita de britagem para serem utilizados como agregados (materiais com granulometria maior do que 12,5mm), num total médio de 52,61%. O restante dos materiais (47,39% em peso) é passível somente de processos de peneiramento em usinas de produção de agregados reciclados.

Deste trabalho são relevantes as seguintes recomendações:

- Avaliar a variação dos indicadores de qualidade estudados nesta dissertação por fontes geradoras do **ENTUV-ES**, identificadas como “Estações Bota-Fora”, “Pontos viciados”, “Obras públicas”, “Limpeza de logradouros públicos” e “Manutenção de áreas verdes”, buscando fornecer melhores subsídios para o gerenciamento adequado deste resíduo sólido;
- Estudar a variabilidade sazonal dos indicadores de qualidade do **ENTUV-ES** e do **AGRECV-ES** aqui avaliados, podendo-se utilizar a metodologia descrita nesta dissertação para levantamento dos mesmos;
- Estudar os Resíduos da Construção Civil (RCC's) gerados nos outros municípios da Grande Vitória, pois as ações de gerenciamento de resíduos sólidos em regiões metropolitanas devem ser realizadas de forma integrada entre as municipalidades;
- Realizar estudos de aplicação dos materiais de Classe A, presentes nas amostras de **ENTUV-ES**, em artefatos de concreto sem função estrutural e em camadas de pavimentos, de acordo com a NBR 15.115:2004 e a NBR 15.116:2004;
- Desenvolver estudos de viabilidade técnica e econômica de implantação de uma usina de produção de agregados reciclados para Região Metropolitana da Grande Vitória.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, R.M.. **Solidificação/Estabilização de Resíduos Sólidos Oleosos de Atividades de Exploração e Produção de Óleo e Gás em Matrizes de Cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados para concreto-Especificação**. NBR 7.251. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária-Método de Ensaio**. NBR 7.251. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Resíduos sólidos-Classificação**. NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. NBR 10.005. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Procedimento para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. NBR 10.006. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Amostragem de resíduos sólidos**. NBR 10.007. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Aterros de resíduos perigosos-Critérios para projeto, construção e operação**. NBR 10.157. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Armazenamento de resíduos classe II-não inertes e III-inertes**. NBR 11.174. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. NBR 12.235. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **Aterros de resíduos não perigosos-Critérios para projeto, implantação e operação**. NBR 13.896. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. NBR 15.112. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** NBR 15.113. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** NBR 15.114. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** NBR 15.115. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** NBR 15.116. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados-Amostragem.** NBR NM 26. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Agregados-Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** NBR NM 27. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Agregados-Determinação da composição granulométrica.** NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** NBR NM-ISO 3310-1. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 2 - Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada.** NBR NM-ISO 3310-2. Rio de Janeiro, 1996.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** In: Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Jan/Mar de 2006. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Rio de Janeiro, 2006.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S; CASSA, J. C. S (coordenadores). **Reciclagem de entulho para a produção de matérias de construção.** Caixa Econômica Federal. EDUFBA. Salvador, 2001.

CASTRO, M.C.A.A. et al. **Caracterização Física e Granulométrica dos Entulhos Gerados na Construção Civil na Cidade de São Paulo**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, 1997, Foz do Iguaçu. Resumo dos Trabalhos Técnicos. Foz do Iguaçu: ABES, 1997.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **PIB - Total Brasil - 1995 a 2008*/ Valor Adicionado Bruto (pb) - Construção e Participações (%) do Setor da Construção Civil na economia nacional - 1995 a 2006 / Taxas de crescimento - 1995 a 2008***. Belo Horizonte, 2008. In: Construção Civil na Economia Nacional e Intermacional – Indicadores da Conjuntura Nacional e Setorial. Disponível em <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 13 de março de 2008.

CASARINI, D.C.P et al. **Relatório de estabelecimento de valores orientados para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). São Paulo, 2001.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **Agenda 21: resumo**. Rio de Janeiro: CNUMAD, 1992.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Presidente: Jose Carlos Carvalho. Brasília, 2002.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FNS). **Manual de Saneamento**. Brasília: FNS, 2004.

GUEDES, T.A.; ARCOSI, C.R.L.; MARTINS, A.B.T.; JANEIRO, V.. **Estatística descritiva**. Projeto de Ensino: Aprender Fazendo Estatística. Departamento de Estatística. Universidade Estadual de Maringá. Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.des.uem.br/downloads/arquivos/Estatistica_Descritiva.pdf>. Acesso em: 27 de junho de 2007.

GRECCO, L.B.; MACEDO, S.R.K.. **Proposta de Plano Unificado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para Postos Revendedores de Combustíveis do Estado do Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental. Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-ES). Vitória, 2005.

JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. In. Seminário de Reciclagem de Resíduos Domiciliares. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm>. Acesso em: 13 de março de 2008.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In. Seminário de Reciclagem de Resíduos Domiciliares. São Paulo, 2003. Disponível em: <www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em: 10 de maio de 2006.

LEITE, M.B.. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MONTEIRO, J.H.P et al.. **Manual de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos**. Coordenação técnica de Vitor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), 2001.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção**. 6 ed.. Editada Globo. Porto Alegre, 1982.

PHILIPPI JR., A.; AGUIAR, A. O. **Resíduos Sólidos: Características e Gerenciamento**. In: PHILIPPI JR., A. (ed.) Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. São Paulo: Manole, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

PINTO, T. P; GONZÁLES, J. L. R (coordenadores). **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Volumes I e II. Caixa Econômica Federal. Brasília, 2005.

ROCCA, A.C.C. et al.. **Resíduos sólidos industriais**. 2 ed. rev. ampl. São Paulo, CETESB, 1993.

SILVA, R.W.C; ARNOSTI Jr., S. **Caracterização do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) Reciclado**. *Holos Environment*. Centro de Estudos Ambientais. Campus de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2006. Disponível em: <<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/holos.htm>>. Acesso em: 07 de junho de 2007.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **A construção civil e o meio ambiente: meio ambiente, um grande problema**. Textos técnicos. São Paulo, 2003. Disponível em: <www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em: 28 de junho de 2006.

TCHOBANOGLIOUS, G. et al.. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill, Inc. New York, 1993.

TEIXEIRA, E. N.; BIDONE, F. R. A.. **Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

TRIOLA, M.F.. **Introdução à estatística**. LTC. Rio de Janeiro, 2005.

ANEXO A – FORMULÁRIOS

FORMULÁRIO PARA AMOSTRAGEM DE ENTUV-ES

INFORMAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE ENTUV-ES			
Data		Dia da semana	seg ter qua qui sex
AMOSTRA	PLACA CAMINHÃO ORIGEM	HORÁRIO DE COLETA	PESO DE ENTUV-ES NO CAMINHÃO (kg)
1			
2			
3			

FORMULÁRIO PARA PESO ESPECÍFICO APARENTE DO ENTUV-ES

Determinação do Peso Específico Aparente						
AMOSTRA	Volume (m ³)		Peso (kg)			
	Tambor 1	Tambor 2	Tambor 1		Tambor 2	
			Pallets/ Recipiente	Amostra	Pallets/ Recipiente	Amostra
1						
2						
3						

FORMULÁRIO DE PESO ESPECÍFICO APARENTE DO AGRECV-ES

Peso específico aparente do AGRECV-ES				
AMOSTRA	Volume (m ³)	Peso (kg)		
	Recipiente	Pallets/ Recipiente	Amostra	Líquido
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

**ANEXO B – CERTIFICADOS DE ANÁLISES - SGS GEOSOL
LABORATÓRIOS LTDA**

AMOSTRA AM1

AMOSTRA AM2

AMOSTRA AM3

AMOSTRA AM4

AMOSTRA AM5

AMOSTRA AM6

AMOSTRA AM7

AMOSTRA AM8

AMOSTRA AM9

AMOSTRA AM10

AMOSTRA AM11

AMOSTRA AM12
