



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

**PATRÍCIA PEREIRA DE ABREU EVANGELISTA**

**ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS  
CLASSE A: DIRETRIZES PARA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS**

Salvador  
2009

**PATRÍCIA PEREIRA DE ABREU EVANGELISTA**

**ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS  
CLASSE A: DIRETRIZES PARA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Viviana Maria Zanta

Salvador  
2009

---

E92 Evangelista, Patrícia Pereira de Abreu  
Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe  
A: diretrizes para reciclagem em canteiros de obras / Patrícia  
Pereira de Abreu Evangelista. – Salvador, 2009.  
152 f. : il. color.

Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Viviana Maria Zanta

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.  
Escola Politécnica, 2009.

1. Gestão de resíduos - Construção Civil. 2. Reciclagem.  
3. Resíduos sólidos I. Zanta, Viviana Maria. II. Universidade  
Federal da Bahia. III. Título.

CDD: 628.44

---

PATRICIA PEREIRA DE ABREU EVANGELISTA

ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS CLASSE A:  
DIRETRIZES PARA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Salvador, 17 de dezembro de 2009

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Viviana Maria Zanta \_\_\_\_\_  
Universidade Federal da Bahia – UFBA)



Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira \_\_\_\_\_  
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Profa. Dra. Mônica Batista Leite \_\_\_\_\_  
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



Dedico este trabalho aos meus filhos, Pedro e Caio,  
ao meu marido, Osnir, e aos meus pais, Astor e  
Telma, pessoas mais importantes da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao SENAI–BA (Serviço Nacional de Aprendizagem industrial – Departamento Regional da Bahia), nas pessoas de Gustavo Leal Sales Filho, Diretor Regional, e Cid Carvalho Vianna, Gerente da Unidade Dendezeiros, e ao SENAI - Departamento Nacional pelo fundamental apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, colaboradores da Unidade Dendezeiros e da Área de Construção Civil do SENAI-BA, que me apoiaram e me incentivaram a todo o momento, especialmente à Patrícia Lordêlo, Ocemar, Francisco, Marinalvo e Tatiana que tiveram participações mais diretas ao longo dos estudos de caso, análise crítica e realização de ensaios laboratoriais desenvolvidos nesta pesquisa.

À Dayana Bastos, um verdadeiro anjo da guarda, pela amizade construída e pelas valiosas contribuições no direcionamento das atividades práticas e na estruturação do trabalho realizado.

Às empresas construtoras, participantes dos estudos de caso, e aos seus dirigentes e técnicos que colaboraram e acreditaram neste trabalho, possibilitando a realização das atividades de campo realizadas nesta dissertação.

A professora Viviana Maria Zanta, pela orientação desta dissertação e pela permanente confiança depositada na minha proposta de pesquisa.

Muito obrigado aos meus familiares, amigos e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização desta experiência única e fundamental para o meu crescimento pessoal e profissional.

"Cada um de nós compõe a sua história  
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz  
De ser feliz".

Almir Sater e Renato Teixeira

## RESUMO

O desenvolvimento industrial e o processo de urbanização promoveram diversos benefícios à vida das populações nas cidades, no entanto trouxeram inúmeros problemas ambientais associados. Com a indústria da construção civil, foco deste trabalho, não foi diferente. Apesar de ocupar posição relevante no cenário econômico do País, notadamente nos aspectos da geração de emprego e renda, a construção civil apresenta-se como um dos segmentos industriais mais críticos no que se refere aos impactos ambientais, sendo o principal gerador de resíduos sólidos da sociedade. A realidade posta em Salvador é caracterizada pela geração de grande volume de resíduos de construção civil, pelo esgotamento das áreas para recepção dos resíduos gerados pela atividade construtiva, pela inexistência de áreas de transbordo e triagem e de usinas para reciclagem, bem como, pela composição do entulho de obra com grande parcela dos resíduos com alto potencial de reciclagem. O presente trabalho teve por objetivo sistematizar e propor diretrizes para o processo de reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obra, como alternativa sustentável para destinação destes resíduos, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Para atender aos objetivos propostos, foram realizados estudos de caso de experiências de reciclagem em canteiros de obras da Região Metropolitana de Salvador (RMS), utilizando equipamento móvel de britagem. Destas experiências, um fluxograma e um procedimento operacional foram desenvolvidos para apoiar a execução da reciclagem nos canteiros, assim como foram gerados parâmetros para avaliação do referido processo. Com este trabalho foi demonstrado o potencial da reciclagem em canteiros de obras, como uma alternativa para a destinação dos Resíduos de Construção Civil (RCC), indicando diretrizes que facilitem a adoção desta prática, contribuindo assim para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos de construção.

**Palavras-chave:** Resíduo de construção civil. Reciclagem em canteiro de obras. Resíduo classe A.



## ABSTRACT

The industrial development and the urbanization process promoted several benefits to the population's life in the cities. However this brought countless environmental associate with. In the construction industry this situation happened in the same way. Despite the relevant position in the economical rank of Brazil, especially related to the generation of job and income, the construction industry is one of the most critical industrial segments concerning the environmental impacts, being an important producer of solid wastes. In Salvador-Bahia-Brazil, the situation is characterized by the generation of great volume of construction wastes, the extinction of the areas for reception of these wastes, and also the non-existence of areas of exchange and selection of construction waste, as well as recycling facilities. This study aims to develop a systematic method to implement a construction waste recycling process on sites construction, considering technical, economical and environmental aspects. In order to achieve this aim, case studies were carried out in three construction sites in Salvador city-Brazil, using movable equipment for construction waste recycling. The main results obtained in this work were the development of a flow chart and an operational procedure aiming to support the implementation of the construction waste recycling process on site, as well as the definition of a set of criteria to evaluate this process. This research showed the potential of the construction waste recycling on site, as an alternative for the destination of these wastes, indicating a set of guidelines aiming to make the incorporation of the recycling practices easy, and contributing to the reduction of the environmental impacts caused for the unsuitable destination of the construction waste.

**Keywords:** construction waste, sustainability, recycling on site.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Composição média do entulho de Salvador, em 1999	28
Figura 2	Fluxo simplificado do processo de construção de edifício	32
Figura 3	Esquema gráfico do processo da Estrutura	32
Figura 4	Serviços que mais geram resíduos na visão dos construtores	33
Figura 5	Resíduos mais críticos na visão dos construtores	34
Figura 6	Principais causas da geração de resíduos na visão dos construtores	34
Figura 7	Fluxo de ações para gestão de resíduos e redução de perdas	45
Figura 8	Etapas do programa de Gestão de Resíduos	50
Figura 9	Dispositivos utilizados nos canteiros	52
Figura 10	Treinamento dos operários no canteiro de obras	53
Figura 11	Cartilha, camisa e boné utilizados nos treinamentos dos operários	53
Figura 12	Livro “Gestão de Resíduos na Construção Civil”	54
Figura 13	Cartazes distribuídos nos canteiros de obras	54
Figura 14	Situação da Reciclagem de RCDs na Europa	55
Figura 15	Fluxo de delineamento da pesquisa	76
Figura 16	Britador de mandíbulas e peneiras vibratórias	78
Figura 17	Equipamento móvel de britagem	78
Figura 18	Fluxo de atividades utilizado nos estudos de caso	78
Figura 19	Resíduo Classe A segregado - Estudo de Caso 1	87
Figura 20	Dispositivos para segregação de RCC – Estudo de Caso 1	87
Figura 21	Instalação da recicladora móvel – Estudo de Caso 1	88
Figura 22	Baias para segregação dos agregados - Estudo de Caso 1	88
Figura 23	Coleta de amostra para análise gravimétrica – Estudo de Caso 1	88
Figura 24	Pesagem de amostra de resíduo classe A - Estudo de Caso 1	88
Figura 25	Análise gravimétrica do resíduo classe A - Estudo de Caso 1	89
Figura 26	Resultado da análise gravimétrica (%) – Estudo de Caso 1	89
Figura 27	Cubagem para britagem piloto – Estudo de Caso 1	90
Figura 28	Adaptação para melhoria na alimentação - Estudo de Caso 1	90
Figura 29	Britador com adaptação do caixão alimentador – Estudo de Caso 1	91
Figura 30	Agregado miúdo reciclado – Estudo de Caso 1	91
Figura 31	Agregado graúdo reciclado – Estudo de Caso 1	91
Figura 32	Baias para armazenamento dos agregados – Estudo de Caso 2	96

Figura 33	Área para reciclagem de resíduos classe A – Estudo de Caso 2	96
Figura 34	Instalação do britador móvel – Estudo de Caso 2	96
Figura 35	Resíduo classe A segregado - Estudo de Caso 2	97
Figura 36	Agregado reciclado – Estudo de Caso 2	98
Figura 37	Blocos de concreto reciclado – Estudo de Caso 2	100
Figura 38	Ensaio de absorção de água – Estudo de Caso 2	101
Figura 39	Ensaio de resistência à compressão – Estudo de Caso 2	101
Figura 40	Concreto magro com agregados reciclados – Estudo de Caso 2	102
Figura 41	Central de reciclagem – Estudo de Caso 3	106
Figura 42	Alimentação do britador - Estudo de Caso 3	106
Figura 43	Central de operação – Estudo de Caso 3	106
Figura 44	Resíduo classe A – Estudo de Caso 3	107
Figura 45	Baias de agregado reciclado – Estudo de Caso 3	107
Figura 46	Resíduo classe A segregado - Estudo de Caso 3	107
Figura 47	Agregado reciclado miúdo – Estudo de Caso 3	108
Figura 48	Agregado reciclado graúdo - Estudo de Caso 3	108
Figura 49	Agregado reciclado graúdo misto – Estudo de Caso 3	108
Figura 50	Produção semanal – Estudo de Caso 3	110
Figura 51	Produtividade semanal – Estudo de Caso 3	110
Figura 52	Volume Agregado reciclado x Volume resíduo – Estudo de Caso 3	111
Figura 53	Aplicação do graute 16MPa – Estudo de Caso 3	113
Figura 54	Regularização de vias de acesso – Estudo de Caso 3	113

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Classificação de resíduos segundo a NBR 10.004/2004	23
Quadro 2	Classificação das frações de materiais do RCC	25
Quadro 3	Entradas e saídas do processo da estrutura	33
Quadro 4	Alternativas de destinação para RCC na RMS	37
Quadro 5	Fluxo físico dos resíduos em canteiros de obras	51
Quadro 6	Contaminação dos resíduos	59
Quadro 7	Materiais produzidos pelas usinas de reciclagem da SLU/PBH	60
Quadro 8	Perfil das empresas dos estudos de caso	79
Quadro 9	Pontos positivos e oportunidades de melhoria - Estudos de caso	118
Quadro 10	Diretrizes para reciclagem de resíduos classe A em canteiros	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição dos RCD de diversas regiões e países (%)	27
Tabela 2	Quantidade da geração de RCD	29
Tabela 3	Resultado da Coleta de Resíduos Sólidos em Salvador	30
Tabela 4	Resultados da pesquisa de geração de resíduos	35
Tabela 5	Caracterização dos agregados reciclados – Estudo de Caso 1	91
Tabela 6	Caracterização do agregado miúdo reciclado – Estudo de Caso 1	92
Tabela 7	Traço do contrapiso com agregado reciclado – Estudo de Caso 1	93
Tabela 8	Dados gerais da reciclagem no canteiro - Estudo de Caso 1	94
Tabela 9	Caracterização dos agregados reciclados – Estudo de caso 2	99
Tabela 10	Misturas experimentais na fabricação de bloco – Estudo de Caso 2	100
Tabela 11	Resultados de ensaios em blocos – Estudo de Caso 2	101
Tabela 12	Dados gerais da reciclagem no canteiro - Estudo de caso 2	102
Tabela 13	Economia com a reciclagem no canteiro - Estudo de caso 2	103
Tabela 14	Monitoramento semanal – Estudo de Caso 3	110
Tabela 15	Caracterização dos agregados reciclados – Estudo de caso 3	112
Tabela 16	Traços com agregado reciclado – Estudo de Caso 3	113
Tabela 17	Avaliação de desempenho dos materiais - Estudo de caso 3	114
Tabela 18	Dados gerais da reciclagem no canteiro - Estudo de caso 3	114
Tabela 19	Custo de produção do agregado reciclado – Estudo de caso 3	115
Tabela 20	Análise econômica - Estudo de caso 3	116

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C	Fator água – cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAFATI	Associação Brasileira de Fabricantes de Tintas
ABRAGESSO	Associação Brasileira de Fabricantes de Bloco e Chapas de Gesso
ABVEP	Associação Brasileira dos Fabricantes de Vassouras, Escovas, Pincéis e Similares
ADEMI-BA	Associação de Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário da Bahia
AGR	Agregado Graúdo Reciclado
AMR	Agregado Miúdo Reciclado
ARC	Agregado de Resíduo de Concreto
ATT	Área de Transbordo e Triagem
BDE	Base de Descarga de Entulho
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COMASP	Comitê de Meio Ambiente, Segurança e Produtividade do SINDUSCON-SP
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DOU	Diário Oficial da União
FAPESB	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
GT	Grupos de Trabalho
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IBI	Instituto Brasileiro de Impermeabilização
LACIS – CDS	Laboratório do Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade
LETP	Licença Especial à Título Precário
LIMPURB	Empresa de Limpeza Urbana do Salvador
MEAU	Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana
PDE	Posto de Descarga de Entulho
PGM	Programa de Gestão de Materiais

PGR	Programa de Gestão de Resíduos na Construção Civil
PGRCC	Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RMS	Região Metropolitana de Salvador
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SEBRAE-BA	Serviço de Apoio às Pequenas e Médias Empresas da Bahia
SEBRAE-DF	Serviço de Apoio às Pequenas e Médias Empresas do Distrito Federal
SENAI-BA	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Departamento Regional da Bahia
SENAI-DN	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Departamento Nacional
SIMPVEP	Sindicato da Indústria de Móveis de Junco e Vime, Vassouras, Escovas e Pincéis no Estado de São Paulo
SINDUSCON-BA	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado da Bahia
SINDUSCON-DF	Sindicato da Indústria da Construção do Distrito Federal
SINDUSCON-MG	Sindicato da Indústria da Construção no Estado de Minas Gerais
SINDUSCON-SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SINDUSGESSO	Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco
SIPIDESP	Sindicato da Indústria de Pinturas e Decorações no Estado de São Paulo
SLU/PBH	Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UnB	Universidade de Brasília
URM	Unidade Recicladora de Materiais
URPV	Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	17
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	20
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO	20
1.3.1	<b>Objetivo geral</b>	<b>20</b>
1.3.2	<b>Objetivos específicos</b>	<b>21</b>
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
<b>2</b>	<b>GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL</b>	<b>23</b>
2.1.	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	23
2.1.1	<b>Definições e classificação</b>	<b>23</b>
2.1.2	<b>Caracterização</b>	<b>26</b>
2.1.3	<b>Geração</b>	<b>28</b>
2.1.4	<b>Destinação</b>	<b>36</b>
2.2.	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E REFERÊNCIAS NORMATIVAS	38
2.3.	GERENCIAMENTO DE RCC EM CANTEIROS DE OBRA	42
2.3.1	<b>Aspectos gerais</b>	<b>42</b>
2.3.2	<b>Experiências de gestão de resíduos em canteiros de obras</b>	<b>46</b>
2.4.	RECICLAGEM DE RCC	54
2.4.1	<b>Panorama geral</b>	<b>54</b>
2.4.2	<b>Iniciativas municipais de reciclagem de RCC no Brasil</b>	<b>57</b>
2.4.3	<b>Reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras</b>	<b>63</b>
2.5.	APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	65
2.5.1	<b>Aspectos gerais</b>	<b>65</b>
2.5.2	<b>Aplicação em argamassas e concretos</b>	<b>66</b>
2.5.3	<b>Aplicação em blocos de concreto</b>	<b>71</b>
2.5.4	<b>Aplicação em pavimentação</b>	<b>72</b>
2.5.5	<b>Outras aplicações</b>	<b>74</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b>	<b>75</b>
3.1.	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	75
3.2.	DELINEAMENTO DA PESQUISA	75



3.3. ETAPAS DA PESQUISA	76
3.3.1 Pesquisa bibliográfica	76
3.3.2 Estudos de caso	77
3.3.3 Análise dos dados	84
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>86</b>
4.1 EXPERIÊNCIAS DE RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS	86
4.1.1 Estudo de Caso 1	86
4.1.2 Estudo de Caso 2	95
4.1.3 Estudo de Caso 3	104
4.1.4 Síntese analítica dos resultados dos estudos de caso	117
<b>5 SISTEMATIZAÇÃO DA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS</b>	<b>119</b>
5.1 FLUXOGRAMA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRAS	120
5.2 PROCEDIMENTO PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRAS	121
<b>6 DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRA</b>	<b>123</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b>	<b>124</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>133</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, demonstrou um aumento do interesse mundial pelo futuro do planeta Terra. Muitos países passaram a valorizar a relação entre desenvolvimento sócio-econômico e modificações ambientais. A Agenda 21 foi um dos principais resultados da Rio-92. Este documento, resultante de acordo entre 179 países, reforça a importância dos países em se comprometer a refletir, global e localmente, sobre a forma pela qual governos, empresas, organizações e todos os demais setores da sociedade podem cooperar na identificação de soluções para os problemas sócio-ambientais (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

Para Lordêlo, Evangelista e Ferraz (2007), naquela época, não se percebia uma preocupação maior por parte da indústria da construção civil com os impactos ambientais causados por sua cadeia produtiva, a exemplo do esgotamento dos recursos naturais não renováveis utilizados ao longo de todo o seu processo de produção, nem tão pouco com o destino dado aos resíduos gerados. Porém, juntamente com todos os benefícios trazidos pelo processo de evolução da atividade industrial, vieram significativos impactos ao meio ambiente e à vida das pessoas.

Os RCC<sup>1</sup> representam um dos maiores problemas enfrentados pelas populações urbanas. A representatividade do Resíduo de Construção Civil (RCC) na massa de Resíduo Sólido Urbano (RSU) gerados nacionalmente varia de 40% a 70% (PINTO, 1999). Já em Salvador, os RCC geridos pelo poder público representam quase a metade dos RSU e correspondem à geração diária, de aproximadamente, 2.300t (LIMPURB, 2006). O volume de geração dos RCC no município é muito maior que o dado apresentado, considerando que este não inclui os resíduos manejados pela iniciativa privada.

Segundo dados de pesquisa realizada pela Associação de Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário da Bahia (ADEMI-BA), o mercado imobiliário baiano cresceu 152,7% em vendas e 179% em lançamentos, no primeiro semestre

---

<sup>1</sup> Para efeito deste trabalho serão considerados sinônimos os termos Resíduo de Construção Civil (RCC) e Resíduo de Construção e Demolição (RCD).

de 2008, em comparação ao mesmo período do ano de 2007 e neste mesmo período foram comercializados 7.269 novos imóveis e lançadas 9.183 unidades. Para corroborar o momento positivo, o volume de vendas superou todo o movimento do ano de 2007, quando 7.116 unidades foram comercializadas. O desempenho do segmento imobiliário confirmou o aquecimento do mercado e reforça a expectativa de uma expansão ainda maior nos próximos anos (NOTÍCIAS..., 2008).

Com a realização de diversas obras de forma consecutiva, para atender ao compromisso de entrega de todas as unidades lançadas e comercializadas em 2008 e nos anos que seguem, tem-se a perspectiva da geração de um volume significativo de RCC na Região Metropolitana de Salvador (RMS). Todo este resíduo precisa ser manejado e destinado de forma responsável pelo setor produtivo.

Os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pela quantidade expressiva do entulho e o seu descarte inadequado impõem a busca de soluções rápidas e eficazes para a gestão adequada desse material. Daí decorre a prioridade de uma ação conjunta da sociedade – Poder Público, setor industrial da construção civil e sociedade civil organizada – na elaboração e consolidação de programas específicos que visem à minimização desses impactos.

A conjunção de todos os atores envolvidos é o que acontece na comunidade europeia. Segundo Puig (2006), são empreendidos esforços integrados, voltados à redução global dos resíduos gerados pelo setor da construção civil, assim como a diminuição dos resíduos destinados à aterros, minimização do volume dos resíduos perigosos e fomento à reutilização e reciclagem dos RCC.

As políticas ambientais relacionadas ao tema devem se voltar para o adequado manuseio, redução, reutilização, reciclagem e disposição desses resíduos (CARNEIRO et al., 2001).

Ainda é muito pequena a quantidade de empresas baianas de construção civil que realizam a gestão eficiente dos resíduos em seus canteiros. A má gestão dos RCC ocorre, apesar das iniciativas públicas locais, como o Projeto de Gestão Diferenciada do Entulho da Empresa de Limpeza Urbana do Salvador (LIMPURB) e a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002, específica para o setor da construção civil (ALMEIDA et al., 2005).

Menor ainda é a prática do reaproveitamento e da reciclagem. A segregação, o acondicionamento e a disposição final qualificada dos resíduos ainda não são realizados de forma adequada e integrada às atividades produtivas dos canteiros da maior parte do Brasil (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

Considerando os aspectos citados acima, faz-se necessária a ampliação das pesquisas no campo da avaliação do processo de reciclagem nos canteiros de obras e no estabelecimento de diretrizes para ampliação desta prática. E assim, viabilizar uma alternativa para minimizar os impactos sócio-ambientais causados pelo descarte inadequado destes resíduos, preservar recursos naturais e melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas.

Em 2006, foram realizados estudos em canteiros de obra no Estado de Sergipe, no âmbito do Projeto de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil. Este projeto foi aprovado em edital do Departamento Nacional do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-DN), com a participação dos Estados de Sergipe, Bahia, Pernambuco e Ceará. Na ocasião foram realizadas experiências de reciclagem de resíduos Classe A em canteiros e analisadas as aplicações do agregado reciclado como materiais de construção (SALES, 2006).

Nesta oportunidade, foi utilizado equipamento móvel de britagem, adquirido no referido projeto e que posteriormente foi transferido para o Estado da Bahia, diante do interesse do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Departamento Regional da Bahia (SENAI-BA), em apoiar a presente pesquisa do Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana (MEAU) da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Desta forma, foi possível, nesta pesquisa, a realização de estudos de caso de experiências de reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras da RMS e estabelecidas diretrizes para esta prática, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Espera-se assim, contribuir para a ampliação do conhecimento dos construtores acerca deste processo, favorecendo sua implantação nos canteiros como alternativa sustentável para a destinação dos resíduos classe A<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Segundo a Resolução CONAMA 307/2002, são considerados resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregado, decorrentes de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de edificações e da fabricação ou demolição de pré-moldados produzidos em canteiros.

## 1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A reciclagem é tida como uma alternativa para redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros, além de ser uma proposta sustentável para destinação dos RCC. Apesar desta situação, poucas são as iniciativas públicas e privadas na adoção desta prática. São pontuais as legislações municipais específicas sobre o tema, as ações de estímulo a utilização dos agregados reciclados em obras públicas e privadas, a implantação de usinas de reciclagem e a prática desta nos canteiros de obra. Tais fatos refletem a falta de informações consistentes sobre o volume de agregado reciclado gerado no país.

A RMS apresenta cenário crítico quanto ao tratamento e destinação de RCC. Em função do crescimento do mercado imobiliário e incremento das obras públicas e privadas, é muito grande o volume de resíduos de construção civil gerado. Em contraponto, é possível pontuar o esgotamento das áreas para recepção destes resíduos, a inexistência de áreas de transbordo e triagem e também de usinas para reciclagem.

No entanto, vale ressaltar que a composição do entulho de obras apresenta grande parcela de resíduos com alto potencial de reciclagem (CARNEIRO et al., 2001).

Assim, o problema do presente trabalho define-se como: diante da inexistência de alternativas para a destinação ambientalmente responsável dos RCC na RMS e, considerando que uma parcela significativa dos resíduos gerados pelo processo construtivo tem alto potencial de reciclagem, como esta prática pode ser viabilizada nos próprios canteiros de obras?

## 1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

### 1.3.1 Objetivo geral

Propor a sistematização de procedimentos e diretrizes para o processo de reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras, a partir de considerações técnicas, econômicas e ambientais.

### 1.3.2 Objetivos específicos

O objetivo geral deste trabalho é desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- Estruturar o processo de reciclagem em canteiros de obras por meio do desenvolvimento de fluxograma e procedimento operacional.
- Definir critérios e parâmetros para a realização da reciclagem no canteiro, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em capítulos que buscaram estabelecer uma seqüência lógica que facilitasse o entendimento da linha de raciocínio utilizada.

O primeiro capítulo aborda o cenário no qual a proposta está inserida, apresentando seu contexto, define o problema de pesquisa, apresenta a definição dos objetivos pretendidos pelo estudo, bem como detalha a estrutura estabelecida para o trabalho.

No capítulo 2 é realizado o embasamento teórico acerca do tema central do trabalho que é a gestão e reciclagem de resíduos de construção civil. Neste capítulo, são apresentadas informações para a classificação deste tipo de resíduo sólido, sua caracterização na RMS, levantamento de informações quanto a sua geração e destinação, assim como seu impacto ambiental.

Ainda no capítulo 2 foram levantadas a legislação e as normas técnicas relacionadas aos RCC, incluindo aquelas, para utilização do agregado reciclado, assim como apresentadas experiências práticas de gestão e reciclagem em canteiros de obra, uso do agregado reciclado em materiais de construção e suas conclusões sobre a viabilidade técnica destas aplicações.

O capítulo 3 aborda os procedimentos metodológicos utilizados e no capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos com a realização dos três estudos de caso de experiências de reciclagem em canteiros da RMS.

O capítulo 5 apresenta uma proposta de sistematização do processo de reciclagem nos canteiros de obras por meio de fluxograma de atividades e de

procedimento operacional que retratam de forma gráfica e descritiva, respectivamente, a sequência de atividades para viabilizar a reciclagem nas obras.

No capítulo 6 são consolidadas as diretrizes para reciclagem em canteiros de obra com a apresentação de recomendações que nortearão o processo, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Por último, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 2. GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

### 2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

#### 2.1.1 Definições e classificação

Segundo a NBR 10.004 (2004, p.1), resíduos sólidos são “resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Na classificação dos resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, estabelecida por esta mesma norma, conforme quadro 1, os RCC são enquadrados na classe II B – Inertes. Isto quer dizer que estes resíduos quando submetidos ao ensaio de solubilização, realizado segundo a NBR 10.006 (2004), não tenham qualquer um de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

<b>Classificação de resíduos pela NBR 10.004/2004</b>
<b>Classe I (Perigosos):</b> resíduos que apresentam periculosidade (riscos à saúde pública e ao meio ambiente), inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
<b>Classe IIA (Não-perigosos e não-inertes):</b> resíduos que não se enquadram na Classe I nem na Classe II B. Podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
<b>Classe IIB (Não perigosos e inertes):</b> resíduos que quando submetidos a ensaios de solubilização da NBR 10.006/2004 não apresentam teores solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

Quadro 1 Classificação de resíduos segundo a NBR 10.004/2004  
(LIMA et al., 2007)

Em 17 de julho de 2002 foi publicada no Diário Oficial da União (DOU), a Resolução No 307 do CONAMA com o objetivo de estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC, disciplinando as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais.

Para conceituar os Resíduos da Construção Civil (RCC) será seguida a referida Resolução que os definem como resíduos:



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, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002, p.1).

A Resolução No 307/2002 do CONAMA trouxe também uma classificação para os RCC, descrita como:

- Resíduos classe A – reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
  - de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
  - de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos etc.), argamassa e concreto;
  - de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
- Resíduos classe B – recicláveis para outras destinações: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
- Resíduos classe C – não permitem a reciclagem. São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tal como o gesso.
- Resíduos classe D – perigosos oriundos do processo de construção: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros. Também foram incluídas nesta classe as telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde por complementação da Resolução 307/2002 pela Resolução 348/2004 do CONAMA.

No quadro 2 é apresentada a classificação dos principais materiais componentes dos RCC, tendo como referência a Resolução N° 307/2002 do CONAMA e a NBR 10.004/2004.

Classificação das frações do resíduo de construção pela Resolução 307 e pela norma ABNT 10.004/2004								
Resíduo	R307	ABNT	Resíduo	R307	ABNT	Resíduo	R307	ABNT
Alvenaria	A	IIB	Argamassas	A	IIB	Concreto	A	IIB
Solo não contaminado	A	IIB	Cerâmicos	A	IIB	Polietileno	C	IIA
Madeira não tratada	B	IIA	PVC	B	IIB	Poliuretano	C	IIA
Madeira tratada	B	I	Gesso	C	IIA	Isopor	B/C	IIA
Aço-alumínio-cobre	B	IIB	Papel e papelão	B	IIA	Vidro	B	IIB
Material de pintura	C/D	I/IIA	Materiais asfálticos	C/D	I	Plástico	B	IIA
Outras informações: Manual de Produtos Químicos Perigosos ( <a href="http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/produto_consulta.asp">www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/produto_consulta.asp</a> ), da Cetesb, e site da Limpurb ( <a href="http://www.limpurb.salvador.ba.gov.br">www.limpurb.salvador.ba.gov.br</a> ).								

Quadro 2 Classificação das frações de materiais do RCC (LIMA et al., 2007)

Para Souza et al. (2004), os RCC representam uma das parcelas do excesso de consumo de materiais nos canteiros de obras. Segundo o referido autor, a quantidade de material utilizado em excesso pode ocorrer por três diferentes motivos: por furto; incorporação de materiais à edificação ou pela geração do entulho que é a parcela mais visível das perdas de materiais.

Considerando o entulho gerado na etapa de produção de um empreendimento, os RCC podem ser classificados segundo quatro critérios (SOUZA et al., 2004):

- Segundo sua forma de manifestação – corresponde à maneira como o resíduo foi gerado. Ex: sacos de cimento empedrados, pontas de aço não reaproveitadas.
- Segundo o momento de incidência – corresponde a etapa do processo em que foi gerado: no recebimento, na estocagem, no armazenamento, na aplicação ou no transporte.
- Segundo suas causas – corresponde a razão imediata para a geração do resíduo. Ex: transporte inadequado, baixa qualidade do material, acidente, uso de ferramentas inadequadas.

- Segundo sua origem – corresponde a origem do problema, ou seja, a tomada ou não de uma decisão que tenha provocado a geração do resíduo na sua etapa de ocorrência ou em etapa anterior. Ex: falta de modulação dos blocos de vedação.

### **2.1.2 Caracterização**

Para se avaliar a composição média dos RCC vários fatores devem ser considerados, tais como: a tipologia construtiva utilizada, as técnicas construtivas existentes e os materiais disponíveis em cada região. Ainda neste contexto, devem ser considerados os índices de perdas de materiais mais significativos, ou seja, a composição do RCC também é um reflexo dos insumos que têm os índices de desperdício mais elevados no setor. Todos estes fatores estarão influenciando a composição do resíduo de construção e demolição (LEITE, 2001).

Segundo Vieira e Dal Molin (2004), quando se analisa a composição dos resíduos de construção e demolição das cidades, se percebe que a sua composição em geral possui elevados percentuais de concreto, material cerâmico e argamassa, independente da região, estado e até mesmo país em que foram gerados.

Pesquisa realizada em obras na Holanda reforça a afirmação dos autores anteriormente citados, indicando que 80% dos RCC são gerados a partir do uso de rochas, concretos, elementos sílico-alcalinos e materiais de cobertura (BOSSINK e BROUWERS, 1996).

Jadovski (2006) consolidou dados de diversos autores sobre a composição de resíduos de construção e demolição (RCD) que estão apresentados na tabela 1. Vale ressaltar que a composição destes resíduos varia de acordo com a fase e com o tipo de obra, afetando a qualidade dos agregados reciclados produzidos.

Tabela 1 Composição dos RCD de diversas regiões e países (%)

COMPOSIÇÃO DOS RCD DE DIVERSAS REGIÕES E PAÍSES (%)												
AUTOR/FONTE	LOCAL	TIPO DE MATERIAL										
		Concreto	Argamassa	Alvenaria	Material Cerâmico	Rochas e Brita	Solo e Areia	Material Asfáltico	Aço	Madeira	Papel e Plásticos	Outros
Brito Filho, 1999, p.60	São Paulo	8	24		30		33					5
Castro et al., 1997, p.1672	São Paulo - Itatinga	12			3		82					3
De Baptisti (1999, p.113)	São Paulo - Itatinga	15			38		20		1	2		24
Ferraz et al., 2001, p.78 à 84	S.P.-Freguesia do Ó			65						13	8	14
	São Paulo - Jaçanã			84								16
Zordan, 1997, p.89	Ribeirão Preto	21	37		24	18						
Latterza; Machado Jr. (1997, p.1969)	Ribeirão Preto	15	46		19	19						1
Machado Jr. et al. (2000, p.4)	Ribeirão Preto	14	48		15	23						
Oliveira; Assis, 1998, p.102	Guaratinguetá	7	41	22								30
Xavier; Rocha, 2001, p.62	Florianópolis	30			19					28		23
Construccion, 1996	Reino Unido	9			5		75					11
Carneiro, 2000 Carneiro et al., 2001a, p.150	Salvador	53				5	22					6
I & T, 1990 Pinto, 1999, p.19 e 20	Santo André	4	64	18	11							3
Hong Kong Polytechnic, 1993	Hong Kong	31		6		12	3	2	3	8	1	34
IBPGE, 1995	Bélgica	38		45	3			10		2		2
ITEC, 1995	Com. Européia	40		45					4	8	3	

(JADOVSKI, 2006. fontes citadas na tabela)

Dados coletados pelo Projeto Entulho Bom, em parceria com a LIMPURB, indicam que a maior parte do entulho de Salvador é composta por resíduos de concreto e argamassa (53%), material cerâmico (14%), solos e areia (22%), rocha (5%), plástico (4%) e apenas 2% compõem outros materiais inclusive o gesso (CARNEIRO et al., 2001). Com a ampliação do uso do gesso, seja nos aspectos decorativos, como forro, vedação vertical ou revestimento, acredita-se que a participação deste elemento tenha aumentado ao longo dos últimos anos, a exemplo do percentual de 3,39% na composição média dos RCC em Aracajú (SINDUSCON-SE et al., 2005 apud SALES, 2006).

Analisando a figura 1, pode-se concluir que apesar do caráter heterogêneo dos RCC de Salvador, a sua maior parte, 94% dos materiais constituintes, se apresentam com alto potencial para reciclagem, constituindo, assim, uma grande fonte de matérias-primas a serem exploradas.

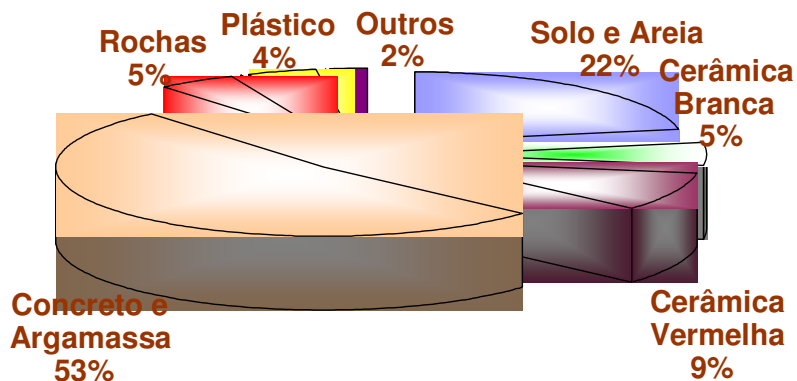


Figura 1 Composição média do entulho de Salvador, em 1999 (CARNEIRO et al., 2001)

### 2.1.3 Geração

De acordo com John (2000), a estimativa do volume gerado de RCC é um grande problema em função da limitação de estatísticas confiáveis e da ausência de classificação padronizada, o que dificulta comparações mais precisas entre os países. Ainda segundo o autor, o macro-complexo da construção civil gera resíduos desde a produção de materiais e componentes, nas atividades de canteiros de obras, durante a manutenção, modernização e, finalmente, na demolição.

Os resíduos provenientes das atividades de construção civil constituem, quase sempre, a maior parcela dos resíduos sólidos gerados no ambiente urbano. É significativa a quantidade de RCC gerada no mundo. A tabela 2 apresenta uma série de dados de diversos autores coletada por Jadovski (2006) sobre este tema.

Tabela 2 Quantidade da geração de RCD

GERAÇÃO DE RCD			
PESQUISADOR	LOCAL	GERAÇÃO DE RCD	OBSERVAÇÕES
Lauritzen, 1998, p.507	Europa	607 a 918 kg/hab.ano	
Desmyter et al., 1994, apud Pera, 1996, p.17	Oeste da Europa	0,7 a 1,0 t/hab.ano	
Vázquez 2001, p.22	União Européia	221 a 334 milhões de ton/ano ou 607 a 918 kg/hab.ano	
Dorsthorst e Hendriks, 2000, apud Leite, 2001, p.17	Comunidade Européia	180 milhões ton/ano ou 0,5 ton/hab.ano	
European Demolition Association, 1992, apud Pera, 1996, p.17	Europa Ocidental	215 milhões ton/ano	Ano 2000, sendo 80% proveniente de demolições
Buchner e Scholten, 1992, apud Bossnik e Brouwers, 1996, p.56	Oeste da Europa	215 milhões ton/ano	Ano 2000
Simons; Henderieckx, 1993, apud Miranda, 2000, p.2	Oeste da Europa	0,7 a 1,0 ton/hab.ano	
Leite 2001, p.17	Holanda	15 milhões ton/ano, ou 1 ton/hab.ano	Ano de 1996
Bossnik e Brouwers, 1996, p.55	Holanda	14 milhões ton/ano	Ano de 1993
Ruch et al. 1997b, apud Miranda, 2000, p.2	Alemanha	33 milhões ton/ano	
Hanish et al., 1991, apud Bossnik e Brouwers, 1996, p.56	Alemanha	32,6 milhões ton	Ano 1991
Kohler e Kircher, 1993, apud Bossnik e Brouwers, 1996, p.56	Alemanha	44 milhões ton/ano	Ano 1993
Freeman e Harder 1997, apud Miranda, 2000, p.2	Inglaterra	70 milhões ton/ano	
Boileau 1997 et al., apud Miranda, 2000, p.2	França	20 a 25 milhões ton/ano	
Peng et al., 1997, p.49	Estados Unidos	20 a 30 kg/m <sup>2</sup> de área construída ou 500 kg/hab.ano	
John, 2000, p.17	Brasil	230 a 760 kg/hab.ano	Entre 41% e 70% do resíduo sólido municipal
Schneider e Philippi Jr., 2004, p.24	São Paulo	17.000 ton/dia	Ano 2003
Hamassaki, 2000, p.179	São Paulo	4 mil ton/dia, ou 90.000 m <sup>3</sup> /mês	
De Baptisti, 1999, p.111	São Paulo	107.000 ton/mês	
Brito Filho, 1999, p.59	São Paulo	144.000 m <sup>3</sup> /mês	Considerando-se os aterros clandestinos
Corbioli, 1996, p.5	Belo Horizonte	1.200 ton/dia e 1.800 ton/dia de terra	Ano de 1993, com custo anual de remoção de 1.000.000 US\$.

(JADOVSKI, 2006. Fontes citadas na tabela)

A geração de RCC varia com o tipo de cidade e sua população, assim como o patamar de desenvolvimento econômico. No Brasil, em cidades de médio e grande porte, as taxas de geração destes resíduos variam entre 400 e 700 kg/habitante/ano (OLIVEIRA, OLIVEIRA e FERREIRA, 2008).

Segundo Puig (2006), a partir de informe da Comissão Europeia de 1999, as estimativas de geração de RCC na União Europeia variavam desde os 720 quilogramas/habitante/ano, na Alemanha e Holanda, aos 170, na Irlanda e na Grécia, estando a média dos países membros em 480 quilogramas/habitante/ano.

A tabela 3 apresenta os dados de coleta de RSU no município de Salvador nos anos de 2004, 2005 e 2006, por tipo de resíduo. Verifica-se que ao longo dos referidos anos, é significativo o percentual de RCC na composição do RSU do município, representando, em média, 45% de todo o resíduo coletado.

Tabela 3 Resultado da Coleta de Resíduos Sólidos em Salvador

<b>COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM SALVADOR</b>							
Tipo	2004		2005		2006		Variação 2005-2006 % + -
	(t)	%	(t)	%	(t)	%	
1. Urbano	701.480	56,03	703.066	51,20	727.984	53,01	3,54
2. RCCs	495.747	39,59	618.230	45,03	604.845	44,04	-2,17
3. Vegetal	47.046	3,75	44.201	3,22	34.480	2,51	-21,99
4. RSSs	7.989	0,63	7.601	0,55	6.013	0,44	-20,90
<b>Total</b>	<b>1.252.262</b>	<b>100</b>	<b>1.373.098</b>	<b>100</b>	<b>1.373.322</b>	<b>100</b>	<b>0,016</b>

Fonte: DIROP/LIMPURB (2006)

Nota: Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs): Domiciliar, Público e Comercial.  
Resíduos da Construção Civil (RCCs): Parcela da Classe A –Entulho  
Resíduos de Serviços de Saúde (RSSs): Parcela do Grupo A- Infectante  
Vegetal: Resíduos provenientes das podas das árvores e das feiras livres

(LIMPURB, 2006)

Não deve ser esquecido que os dados apresentados se referem apenas aos RCC geridos pelo Poder Público, este número é muito maior se forem considerados os resíduos manejados pela ação privada e aqueles destinados de forma irregular.

O crescimento populacional constitui um fator importante nessa geração, visto que contribui para o aumento da geração desses resíduos. Além disso, o déficit habitacional pressiona a sociedade a expandir o número de habitações nos próximos anos, o que contribui, também, para o aumento da geração de entulho.

Como constatado por Souza et al. (2004), vários trabalhos sobre a mensuração dos resíduos gerados na produção de edificações foram realizados no país e no exterior, com alguma diferenciação no que diz respeito aos materiais estudados, parcelas de perdas abordadas (perda incorporada e entulho ou apenas uma delas), estratégia de atuação, entre outros aspectos. Porém, todas com o mesmo objetivo.

Como principal conclusão destes trabalhos é possível destacar o fato de que as perdas de materiais são significativas, tanto no que diz respeito ao material incorporado em excesso, quanto na forma de entulho (SOUZA et al., 2004).

Entre os anos de 2006 e 2007 foi desenvolvido por pesquisadores do SENAI-BA das áreas de Construção Civil e Meio Ambiente, apoiados por especialistas externos, o projeto “Tratamento e Destinação Responsável de Resíduos Sólidos na Construção Civil” com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), órgão da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado. O referido projeto teve por objetivo o desenvolvimento de estudos e pesquisas de campo que promovessem a ampliação das informações acerca da geração e da destinação dos RCC na RMS e uma melhor gestão ambiental destes resíduos. Para isso, foi dado enfoque na prevenção, incluindo a avaliação dos seus aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais (LIMA et al., 2007).

O Projeto foi estruturado em três etapas: (1) Elaboração de um Diagrama de Blocos, identificando insumos e resíduos gerados nas várias etapas do processo de construção de edificações; (2) Pesquisa sobre a geração de resíduos de construção na cidade de Salvador, desenvolvida em duas fases: um diagnóstico inicial e uma pesquisa de campo; (3) Pesquisa sobre a destinação dos diferentes tipos de resíduos de construção na RMS (LIMA et al., 2007). Na primeira etapa, a ferramenta do diagrama de blocos foi escolhida pela simplificação dos processos por meio da representação gráfica e teve por objetivo principal a identificação das entradas e saídas de 20 processos críticos selecionados.

Para a melhor compreensão e, principalmente, para a simplificação do processo de construção civil, foi realizada a elaboração de um fluxograma que descreve os principais processos que compõe a construção de um edifício, retratado na figura 2. Apesar dos processos apresentados poderem ser substituídos por processos similares ou competitivos, este fluxograma representa o fluxo típico encontrado na construção de um edifício na RMS (CAPONERO e ALMEIDA, 2006).



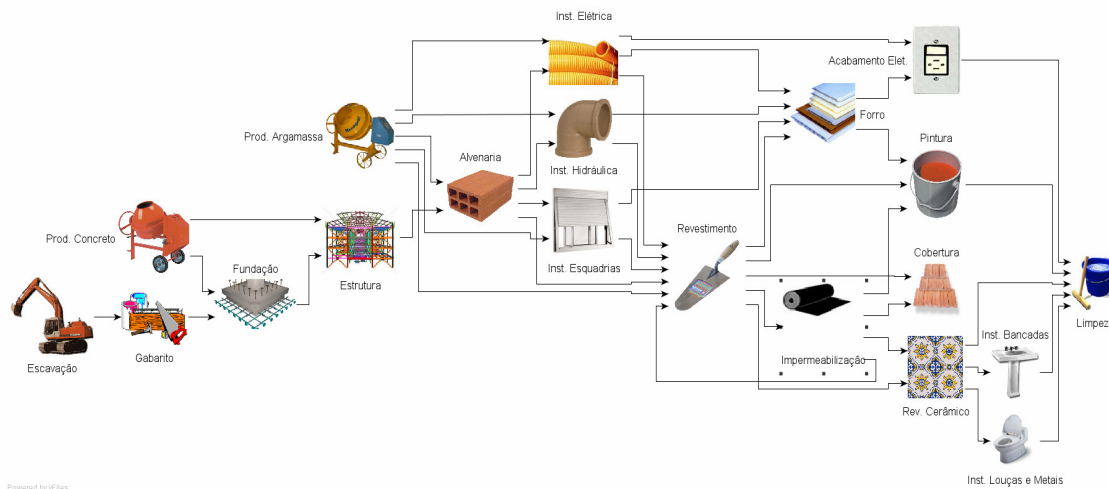


Figura 2 Fluxo simplificado do processo de construção de edifício  
(CAPONERO e ALMEIDA, 2006)

Os resultados obtidos nesta fase do estudo fortalecem a proposta da presente dissertação, uma vez que resíduos classe A foram identificados em saídas de vários processos críticos estudados. Este fato remete a necessidade de proposições concretas e sustentáveis para destinação desta classe de resíduos. Para exemplificar o trabalho realizado na identificação das entradas e saídas dos processos, é apresentado um exemplo relativo à etapa da estrutura, serviço gerador de resíduos classe A, na figura 3 e no quadro 3.

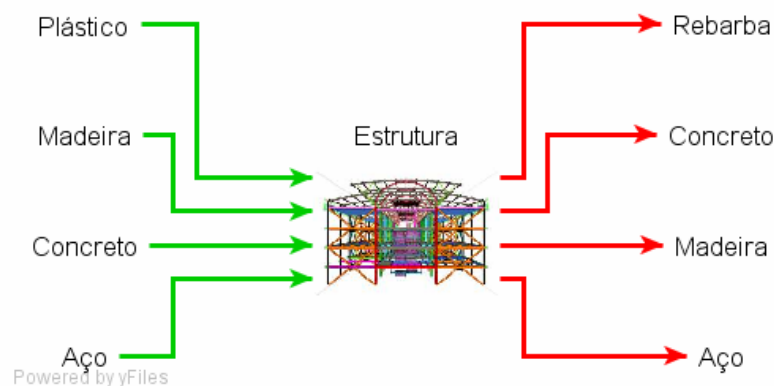


Figura 3 Esquema gráfico do processo da Estrutura  
(CAPONERO e ALMEIDA, 2006)

Processo:	V - Execução de Estrutura						
Descrição:	Estrutura de concreto armado convencional, moldada no local com fôrma de madeira						
Predecessores:	III - Fundação						
Sucessores:	VI - Alvenaria						
Entradas				Saídas			
Cod.	Descrição	Fonte	Função	Cod.	Descrição	Motivo	Destino
V.E.1	Madeira	Madeira	Fôrma	V.S.1	Madeira	Uso temporário	Queima ou aterro
V.E.2	Aço para CA	Metalúrgica ou Empresa de corte e dobra	Armação	V.S.2	Concreto	Sobra	Reuso
V.E.3	Concreto	Concreteira ou Processo	Estrutura	V.S.3	Concreto	Rebarba	Reciclagem ou Aterro Classe A
V.E.4	Madeira	Madeira	Escoramento e Cimbramento	V.S.4	Aço	Sobra ou uso temporário	Sucateiro
V.E.5	Plástico	Loja	Espaçador	V.S.5	Concreto Armado	Produto	Obra
V.E.6	Tela plástica	Fabricante	Proteção - periferia	V.S.6	Tela plástica	Processo (uso temporário)	Cooperativa (reciclagem) ou reuso

Quadro 3 Entradas e saídas do processo da estrutura (CAPONERO e ALMEIDA, 2006)

Segundo Lima et al. (2007), na etapa 2, foram entrevistados responsáveis por 29 obras em Salvador e segundo a maioria deles, os serviços que mais geram resíduos em seus canteiros são: vedação vertical e revestimento de parede. Foram levantados também os resíduos considerados mais críticos, considerando os seguintes motivos: inexistência de soluções para o reaproveitamento e destinação, dificuldade de manejo e armazenamento, sujeira na obra, risco de acidentes e potencial de poluição ambiental. Os resultados são apresentados nas figuras 4 e 5.

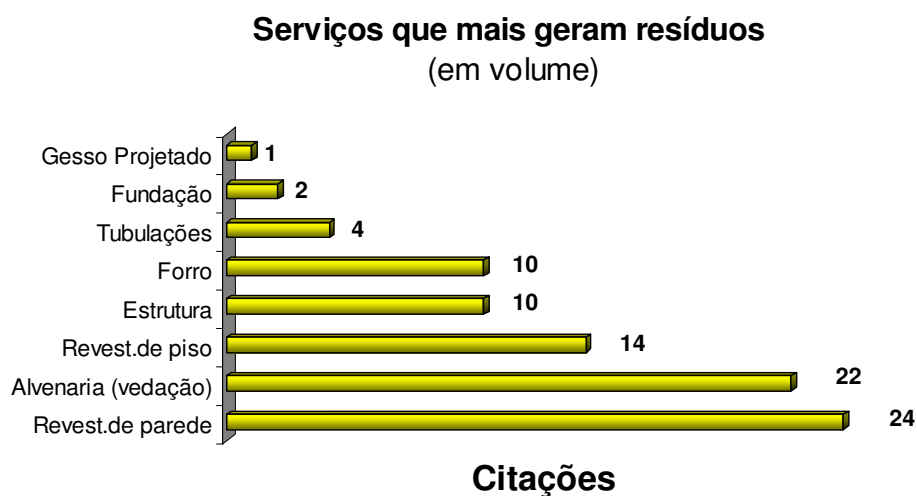


Figura 4 Serviços que mais geram resíduos na visão dos construtores (LIMA et al., 2007)



Figura 5 Resíduos mais críticos na visão dos construtores  
(LIMA et al., 2007)

Foi perguntado também aos construtores, quais as principais causas da geração dos resíduos, as respostas são indicadas na figura 6.

### Principais causas da geração de resíduos

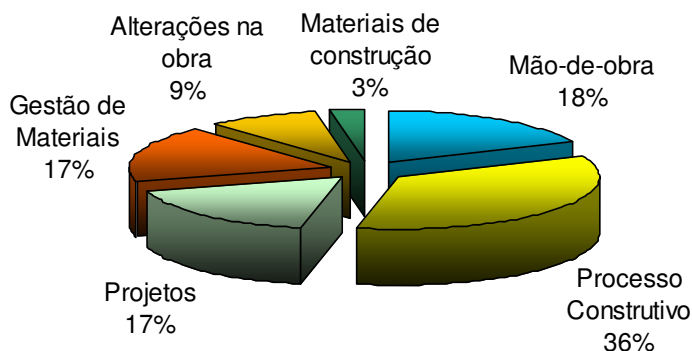


Figura 6 Principais causas da geração de resíduos na visão dos construtores  
(LIMA et al., 2007)

Pelos dados apresentados na figura 6, a execução dos processos construtivos, a qualificação da mão-de-obra, falhas em projetos e gestão dos materiais respondem por 88% da geração de resíduos nas obras. Segundo Ekanayake e Ofori (2000), em pesquisa realizada na África do Sul, vários fatores contribuem para geração de RCC, isoladamente ou pela combinação de dois ou mais destes. Estas

causas foram organizadas em seis categorias: (1) Projeto, (2) Aquisição, (3) Manuseio de materiais, (4) Execução, (5) Resíduos relacionados e (6) Outros (GAVILAN e BERNOLD, 1994 *apud* EKANAYAKE e OFORI, 2000). As quatro primeiras categorias citadas acima coincidem com os fatores mais significativos de geração de RCC apresentados na figura 6.

Foi verificado ainda na pesquisa de Lima et al. (2007) que na maioria das obras, os resíduos não são encaminhados ao reuso e reciclagem, apesar das empresas conhecerem a Resolução 307 do CONAMA/2002.

Também foi realizado levantamento quantitativo da geração de resíduos em canteiros de quatro empresas construtoras para os serviços de execução de alvenaria, corte em alvenaria, revestimento com gesso, revestimento com argamassa. Dentre os resultados obtidos observou-se uma grande variedade do volume de resíduo gerado entre as obras, como pode ser observado na tabela 4. No caso da alvenaria de vedação, por exemplo, o percentual variou de 6,8% a 13,9%, sendo menor nas obras com modulação das paredes. Na etapa 3, foram pesquisadas soluções ambientalmente adequadas para destinação dos resíduos na RMS (LIMA et al, 2007).

Tabela 4 Resultados da pesquisa de geração de resíduos

Serviço	Obra	Área medida (m <sup>2</sup> )	Resíduos gerados (m <sup>3</sup> )	Resíduos gerados (% em volume)
Alvenaria de vedação	1	342,11	4,31	13,9
	1	342,11	3,86	12,6
	2	194,81	1,31	7,4
	2	194,81	1,42	8,1
	3	332,92	2,04	6,8
Cortes em alvenaria	1	342,11	0,83	2,7
	3	332,92	0,92	3,1
Revestimento com gesso	2	360,00	0,84	12,0
	2	360,00	0,80	11,0
Revestimento em argamassa	1	660,66	2,40	17,9
	3	777,45	0,86	5,5
	4	806,22	0,14	0,89
	4	806,22	0,10	0,62

(LIMA et al., 2007)

Em diversos países é possível constatar que a política aplicada para controle da geração dos RCC é baseada, prioritariamente, na minimização da geração na fonte, no envolvimento da sociedade, no processo de educação dos técnicos do setor e da criação de ferramentas de gestão e legislações que possam administrar de forma sustentável os resíduos do processo construtivo em seus domínios

territoriais (BOSSINK e BROUWERS, 1996; EKANAYAKE e OFORI, 2000; GAMBIN, LEO e RAHMAN, 2004; PUIG, 2006).

#### **2.1.4 Destinação**

A destinação dos RCC é de responsabilidade de seu gerador, incluindo ações voltadas ao seu reuso, reciclagem ou destinação responsável. Neste último aspecto o gerador deverá estar atento para promover o transporte adequado e o encaminhamento dos resíduos para locais autorizados (CONAMA, 2002).

São gastos em torno de R\$ 2 milhões por mês com o recolhimento de entulho disposto clandestinamente em centros urbanos acima de dois milhões de habitantes. Pode-se dizer que mais da metade do entulho é disposto irregularmente na maioria dos centros urbanos brasileiros de médio e grande porte (BLUMENSCHHEIN, 2007).

Algumas alternativas possíveis para destinação dos RCC são (PINTO, 1999; PESSOA, 2006; LORDÊLO, EVANGELISTA E FERRAZ, 2007):

- Postos de entrega: área pública destinada ao recebimento de pequenos volumes de resíduos da construção civil.
- Área de Transbordo e Triagem (ATT): área pública ou privada que se destina a receber RCC em maiores volumes, coletados por agentes privados, com o objetivo da triagem dos resíduos recebidos, eventual transformação e posterior remoção para adequada área de disposição final.
- Área de Reciclagem: área pública ou privada destinada à transformação dos resíduos classe A em agregados.
- Aterros de Resíduos da Construção Civil: área pública ou privada onde são empregadas técnicas de disposição de resíduos classe A, visando à preservação de materiais segregados, possibilitando seu uso futuro e/ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente.
- Aterros para resíduos industriais: área licenciada para o recebimento de resíduos industriais classe I e II, conforme definição da NBR 10.004 (2004).

- Outros agentes: sucateiros, cooperativas, cerâmicas, grupos de coleta seletiva e outros agentes que comercializam resíduos recicláveis.

Em Lima et al. (2007) foi realizado levantamento das soluções disponíveis na RMS para a destinação dos principais RCC e os dados consolidados estão apresentados no quadro 4.

<b>DESTINAÇÃO PARA RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA RMS</b>			
<b>Observação</b>	<b>Cuidados na gestão</b>	<b>Reuso/ reciclagem</b>	<b>Destinação em Salvador</b>
<b>Classe A</b>			
Compõe mais da metade do resíduo de construção	Segregar concretos e alvenarias para facilitar o reuso e a reciclagem	<b>Reuso:</b> bases de pisos, revestimento primário de vias, etc. <b>Reciclagem:</b> produção de areia e brita	Base de Descarga de Entulho, reciclagem em obra ou aterro licenciado
<b>Madeira e podas (Classe B)</b>			
Representa mais de 10% do resíduo de construção levado aos aterros	Segregar: madeira de lei, madeira contaminada e não contaminada	<b>Reuso:</b> na construção. <b>Reciclagem:</b> como combustível e na produção de móveis, caixilhos, chapas, etc.	Pode ser doada ou vendida para olarias, indústrias cerâmicas ou outras empresas
<b>Papel, plástico, metais e vidro (Classe B)</b>			
São comumente reciclados no país. Têm pequena participação no resíduo de construção	Segregação na obra para facilitar a doação/venda e diminuir custos de transporte	Devem ser reciclados	Vender ou doar para cooperativas e empresas de reciclagem
<b>Resíduos perigosos (Classe D)</b>			
Têm pequena participação no resíduo de construção, mas demandam cuidados na gestão	Separar dos demais resíduos desde a origem e destinar a empresas especializadas	Quando puder ocorrer, a reciclagem deve ser realizada por empresas capacitadas.	Encaminhar à Cetrel Lumina ou Ecomed. Alguns fabricantes podem receber os resíduos.
<b>Gesso (Classe C)</b>			
Sua participação no resíduo de construção é pequena, mas problemática. Em aterros, leva à formação de gases tóxicos. Contamina o lençol d'água com sulfatos. Agregados reciclados com gesso geram reações expansivas nos concretos	Separar dos demais desde a origem e destinar a empresas especializadas	Ao ser calcinado e moído, o gesso pode ser usado na construção. O gesso acartonado apresenta maiores desafios, pela associação com outros produtos	Não há solução economicamente viável para sua reciclagem, em Salvador. Encaminhar à Cetrel Lumina ou Ecomed. É interessante negociar soluções com o fornecedor.

Quadro 4 Alternativas de destinação para RCC na RMS (LIMA et al., 2007)

Dentre as proposições de destinação para o resíduo classe A, foi indicada a reciclagem em obra para produção de areia e brita. Deve-se atentar para o fato de que alternativas para destinação podem surgir com o desenvolvimento tecnológico, alterações no mercado, políticas públicas, iniciativas privadas, entre outras possibilidades.

Ainda são restritas, em muitos municípios, as alternativas para a destinação ambientalmente adequada dos RCC. Segundo Melo et al. (2008), que realizaram

avaliação do panorama dos RCC em Goiânia, o volume de RCC cresce a cada ano, o que demanda o acompanhamento das soluções relativas ao seu transporte e destinação final. Os autores relatam ainda que os órgãos municipais dispõem de poucos dados e informações e demonstram despreocupação quanto ao tema, ignorando o enorme passivo ambiental cujas conseqüências são partilhadas silenciosamente com a comunidade e com a iniciativa privada.

Segundo Souza et al. (2004) embora seja de grande importância a destinação adequada dos resíduos gerados torna-se imperativo ações que tenham como objetivo a redução do entulho diretamente na fonte de geração, ou seja, nos próprios canteiros de obras.

## 2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Segundo Almeida et al. (2005), no Brasil, as políticas públicas voltadas ao gerenciamento de RCC visam impulsionar as empresas geradoras de resíduos a tomarem uma nova postura gerencial. Estas medidas, em geral, ainda são consideradas como não usuais, ou mesmo, como desconhecidas no setor, seja público ou privado, da construção civil.

O Estatuto das Cidades, Lei Federal nº 10.257, promulgada em 10/6/2001, institui novas e importantes diretrizes para o desenvolvimento sustentado dos centros urbanos brasileiros (BRASIL, 2001). O Estatuto prevê a necessidade de proteção e preservação do meio ambiente natural e construído, com uma correta distribuição dos benefícios e ônus decorrentes da urbanização, exigindo que os municípios adotem políticas setoriais articuladas e sintonizadas com o seu Plano Diretor. Uma dessas vertentes setoriais, que pode ser destacada, é a que trata da gestão dos resíduos sólidos (PINTO e GONZÁLEZ, 2005).

A principal ação efetivada em termos legais, visando à mudança deste quadro foi a criação da Resolução Nº 307/2002 do CONAMA.

O CONAMA preocupado com a degradação ambiental gerada pelos resíduos de construção publicou a referida Resolução que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, além de disciplinar as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais gerados por estes.

A referida Resolução, que entrou em vigor em 02 de janeiro de 2003, considera que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos. Obriga ainda os gestores municipais e construtores a adaptarem seus processos de gestão de modo a garantir a destinação ambientalmente correta dos RCC. Isto envolve a qualificação e documentação de procedimentos de triagem, acondicionamento e disposição final dos resíduos no canteiro.

De acordo com esta Resolução, os geradores devem ter como objetivo maior a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

A elaboração e implantação do Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) pelos grandes geradores é outra exigência da Resolução 307/2002 do CONAMA. A diferenciação entre grande e pequeno gerador é definida por cada município. Alguns municípios consideram a área construída do empreendimento e outros, o volume de resíduo por descarga.

O PGRCC deverá ter como objetivo o estabelecimento dos procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos, e contemplar as etapas (CONAMA, 2002):

- caracterização: identificação e quantificação dos resíduos;
- triagem: deverá ser promovida, preferencialmente, na origem, ou ser realizada nas áreas licenciadas para essa finalidade, respeitando-se as classes de resíduos;
- acondicionamento: confinamento dos resíduos da geração até o transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;
- transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- destinação: deverá ser prevista de acordo com a classificação de cada resíduo.



Já para os municípios, a Resolução 307/2002 do CONAMA determina que estes, devem implantar a gestão dos resíduos da construção civil por meio da elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Apesar dos prazos estabelecidos para as adequações por parte dos municípios e dos geradores, poucas foram as iniciativas públicas e privadas para atender as exigências estabelecidas, no sentido de adaptarem seus processos de modo a garantir a destinação ambientalmente correta dos RCC.

Ainda em âmbito nacional pode ser citada a Lei N<sup>o</sup> 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Dentre os princípios fundamentais desta lei está previsto, para o Poder Público, o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado (BRASIL, 2007).

No âmbito da referida lei, em seu artigo sétimo, é dito que estão incluídas no serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos, as atividades de triagem para fins de reuso ou reciclagem, de tratamento, inclusive por compostagem, e de disposição final dos resíduos do lixo doméstico, da varrição e limpeza dos logradouros e vias públicas (BRASIL, 2007). Considerando que a destinação dos RCC pelos pequenos geradores e as deposições irregulares destes resíduos em bota-fora clandestinos, lotes vagos, encostas e áreas inadequadas vão se incorporar ao volume de resíduos sólidos urbanos que estão sob a responsabilidade do poder público, é evidenciado o papel fundamental da gestão municipal do RCC.

Segundo Melo et al. (2008), a Constituição Federal em seu capítulo VI, artigo 225, juntamente com a Política Nacional de Meio Ambiente, Lei de Crimes Ambientais e seus respectivos decretos regulamentares são outras legislações federais que tratam de temas relacionados aos impactos ambientais e as responsabilidades do gerador-poluidor.

Outros mecanismos como a Política Urbana, prevista em capítulo específico da Constituição Federal, o Estatuto das Cidades e a Medida Provisória N<sup>o</sup> 2.220 de 2001 que cria o Conselho Nacional de Desenvolvimento Urbano, apresentam

diretrizes para a política urbana no país nos níveis federal, estadual e municipal (MELO et al., 2008).

A Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (LIMPURB) vem buscando implantar desde 1997 o Plano de Gestão Diferenciada de Entulho na Cidade de Salvador. Este Plano promove medidas para a redução do descarte clandestino, convertendo-o em disposição correta.

Para tanto, o Plano previa a instalação de 22 Postos de Descarga de Entulho (PDE), áreas destinadas à recepção de pequenos volumes (até 2 m<sup>3</sup>) e 6 Bases de Descarga de Entulho (BDE), áreas para recepção de grandes volumes (superiores a 2 m<sup>3</sup>). Além desta infra-estrutura, o Plano previa também, o credenciamento de empresas particulares de coleta e transporte de entulho (LIMPURB, 2005). Até o momento só existem seis PDEs com funcionamento precário e a BDE de Canabrava que apresenta sua capacidade de recebimento de RCC praticamente esgotada.

Visando ampliar e regulamentar as ações do Plano foi publicado um Decreto Municipal 12.133, em 08 de outubro de 1998, que estabeleceu, dentre outras coisas:

- a necessidade de redução de danos ao meio ambiente e a saúde pública por meio de ações preventivas;
- que todo o resíduo gerado deve estar dentro dos limites do canteiro;
- multa para a disposição de resíduos em local irregular;
- que o transportador de entulho deve estar devidamente registrado na LIMPURB.

Dentre as metas a serem atingidas, o aspecto mais crítico é a disponibilidade de recursos necessários à instalação das Bases de Descargas de Entulho (BDE) para possibilitar a destinação adequada, promover a reciclagem e a fabricação de componentes para a construção civil. O entulho proveniente dos grandes geradores ainda está sendo transportado para a única área de recepção disponível no município, que é a BDE de Canabrava ou para outras áreas de aterro, muitas vezes sem alvará ou licença, ou seja, clandestinas. Essa BDE está passando por um processo de encerramento de sua vida útil, ficando cada vez mais restritas as áreas disponíveis para a disposição de entulho em Salvador.

Além das políticas públicas praticadas pelos municípios foram elaboradas normas técnicas para regulamentação do manejo dos resíduos sólidos de construção, assim como para utilização dos agregados reciclados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma entidade que trabalha com normatização técnica no País. Sendo assim, ela tem desenvolvido normas brasileiras sobre os mais diferentes temas.

Existem cinco normas brasileiras relacionadas ao tema Gestão de Resíduos:

- 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.

Estas normas têm papel fundamental no sentido de estimular a segregação, reciclagem e destinação responsável dos resíduos, dando respaldo técnico e legal.

## 2.3 GERENCIAMENTO DE RCC NOS CANTEIROS DE OBRA

### 2.3.1 Aspectos gerais

Para Almeida et al. (2005), a criação e o estabelecimento de parâmetros e procedimentos em obra para a gestão diferenciada dos resíduos são fundamentais para assegurar o devido descarte. Ações como estas, quando executadas amplamente por empresas do setor, promovem a minimização substancial dos impactos ambientais que a disposição inadequada dos resíduos gera e contribuem

para evitar a necessidade de soluções emergenciais. A atitude corretiva é a situação típica da maioria dos municípios brasileiros, com ações de caráter não preventivo, repetitivo, custoso e, principalmente, ineficiente.

Segundo Lordêlo, Evangelista e Ferraz (2007), a organização, a limpeza e a segregação dos RCC estão diretamente relacionadas às perdas, tanto de materiais, quanto de mão-de-obra. As autoras acreditam que ao promover uma adequada limpeza e segregação dos resíduos, se consegue reduzir enormemente os índices de perda no canteiro, pois:

- o canteiro fica mais limpo e organizado;
- se evita a mistura entre os materiais e os resíduos, pois estes serão segregados, evitando que materiais novos sejam descartados como resíduo;
- se promove o reaproveitamento dos resíduos antes do descarte;
- os resíduos a serem descartados serão quantificados e qualificados, o que colabora na identificação de possíveis focos de desperdício.

Outro aspecto importante no tocante à limpeza do canteiro é a redução da incidência de acidentes de trabalho proporcionada por um local de trabalho mais seguro. Vale reforçar que um ambiente de trabalho mais limpo e organizado aumenta a satisfação dos colaboradores, promovendo ganhos também para a empresa (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

Segundo Pessoa (2006), que avaliou os resultados obtidos por grupo de empresas construtoras em Salvador na implantação de Programa de Gestão de Resíduos na Construção Civil (PGR) em seus canteiros, a separação dos RCC leva a uma redução de cerca de 25% no volume total gerado destes resíduos. Esta redução se dá em função do fator de empolamento dos materiais componentes, promovendo, em consequência da segregação, uma redução no custo da destinação.

Podem ser indicadas como as principais dificuldades encontradas na implantação de PGR em canteiros de obras (PESSOA, 2006; ALMEIDA et al., 2005):

- manutenção da equipe operacional da obra comprometida com os objetivos do programa, demandando sensibilização permanente de todos os envolvidos;
- existência de equipes de limpeza das obras em contraponto a necessidade da segregação dos resíduos na fonte com a participação dos próprio oficiais responsáveis pelos serviços;
- disponibilidade e adequação dos dispositivos de coleta e segregação dos resíduos, assim como sua devida identificação;
- sistematização prévia das informações sobre fornecedores de dispositivos, agentes de coleta e soluções de destinação no município;
- compatibilização da coleta seletiva dos resíduos nos canteiros com o sistema de transporte vertical e horizontal adotados pela empresa;
- falta de racionalização dos projetos e falhas executivas;
- baixo comprometimento da alta direção e da gerência da obra;
- falta de opções para a destinação responsável dos resíduos no município e de regulamentação do órgão gestor municipal quanto ao tratamento dos RCC.

Segundo Sterniere, Pimentel e Lintz (2008), o sucesso da implantação de um programa de gestão ambiental em empresas construtoras dependerá da conciliação entre os benefícios ambientais e os benefícios gerados para a empresa como unidade de negócio. Desta forma, a sintonia com os aspectos gerenciais relacionados ao planejamento, controle da produção, logística, suprimentos e capacitação de pessoal, deve ser privilegiada durante todo o processo de implantação de programas desta natureza.

A gestão dos RCC e as soluções para redução de sua geração, assim como seu correto manejo e destinação, devem acompanhar todo o processo de realização do empreendimento, desde a sua concepção até a entrega ao cliente e manutenção (LIMA et al., 2007). A figura 7 apresenta diretrizes a serem consideradas em cada etapa do empreendimento.



Figura 7 Fluxo de ações para gestão de resíduos e redução de perdas (LIMA et al., 2007)

Apesar das dificuldades encontradas, a implantação de PGR em canteiros de obras apresenta viabilidade financeira e traz ganhos ambientais significativos (PESSOA, 2006).

### 2.3.2 Experiências de gestão de resíduos em canteiros de obras

Com o advento da Resolução No 307/2002 do CONAMA, das legislações municipais e diante da necessidade de ações efetivas para o gerenciamento dos RCC nos canteiros, algumas iniciativas começaram a ser percebidas, mesmo que pontualmente, no País.

Em São Paulo o Programa de Gestão Ambiental de Resíduos em Canteiros de Obra<sup>3</sup> foi iniciado em janeiro de 2003 e concluído em agosto de 2004. O Programa contemplou o desenvolvimento e implantação de metodologia para a gestão de resíduos em canteiros de obras de 11 construtoras participantes do COMASP - Comitê de Meio Ambiente, Segurança e Produtividade do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP). O objetivo da metodologia é orientar as construtoras para o correto gerenciamento dos resíduos nos canteiros, incluindo conceitos para a redução da geração, correta segregação, reuso e destinação adequada que possibilite a reciclagem.

Conforme Campos (2007), este Programa foi conduzido nas empresas com a consultoria das empresas I & T Informações e Técnicas e Obra Limpa. Ainda segundo o autor, o referido programa foi estruturado em quatro etapas:

- PLANEJAMENTO (Cronograma de atividades e definição dos recursos necessários)
- IMPLANTAÇÃO (Aquisição e instalação de equipamentos, treinamento das equipes/ capacitação e segregação dos resíduos)
- SUPORTE À DESTINAÇÃO (Correta destinação: informações e soluções, registros da destinação/documentação)
- ACOMPANHAMENTO (Check list e avaliação)

Foram criados no SINDUSCON-SP, Grupos de Trabalho (GT) para o desenvolvimento de soluções para os resíduos da construção, com o objetivo de viabilizarem alternativas e práticas para o reuso, reciclagem e destinação dos RCC. Os grupos são constituídos por representantes da cadeia produtiva, entre eles, construtoras, fabricantes, aplicadores, instituições, pesquisadores, órgãos públicos,

---

<sup>3</sup> Informações disponíveis em:  
[http://www.sindusconsp.com.br/teste\\_secoes.asp?categ=10&subcateg=62&goframe=meioambiente](http://www.sindusconsp.com.br/teste_secoes.asp?categ=10&subcateg=62&goframe=meioambiente).  
Acesso em 19 mai. 2009.

além de representantes do COMASP. Estão em andamento os trabalhos nos seguintes grupos:

- GT – Gesso: ABRAGESSO - Associação Brasileira de Fabricantes de Bloco e Chapas de Gesso; SINDUSGESSO - Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco; representantes de fabricantes; construtores; aplicadores; e consultores.
- GT – Impermeabilização: IBI - Instituto Brasileiro de Impermeabilização; representantes de fabricantes; construtores; aplicadores; e consultores.
- GT – Tintas: ABRAFATI – Associação Brasileira de Fabricantes de Tintas; ABVEP – Associação Brasileira dos Fabricantes de Vassouras, Escovas, Pincéis e Similares; SIMPVEP – Sindicato da Indústria de Móveis de Junco e Vime, Vassouras, Escovas e Pincéis no Estado de São Paulo; SIPIDESP – Sindicato da Indústria de Pinturas e Decorações no Estado de São Paulo; representantes de fabricantes; construtores; aplicadores; e consultores.

Ainda em São Paulo pode-se citar a Câmara Ambiental da Indústria da Construção da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo, como fórum de discussão para assuntos relacionados a resíduos que tenham interface nas esferas municipais e estaduais, entre eles o licenciamento de aterros e a criação de normas técnicas.

Outra iniciativa no país é o Programa de Gestão de Materiais (PGM) do Distrito Federal que é resultado de uma parceria entre a Universidade de Brasília (UnB) por meio do Laboratório do Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade (LACIS-FAU), o Sindicato da Indústria da Construção do Distrito Federal (SINDUSCON-DF) e o Serviço de Apoio às Pequenas e Médias Empresas do Distrito Federal (SEBRAE-DF).

Segundo Blumenschein e Sposto (2003), o PGM tem como objetivo contribuir com a gestão dos materiais utilizados pelo processo construtivo, visando à minimização de impactos ambientais gerados desde a fase de extração de matéria prima até o descarte na forma de entulho e é composto de três subprogramas: Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras,



Programa de Racionalização e Redução de Perdas e Programa de Análise do Ciclo de Vida dos Materiais.

O Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos foi desenvolvido em grupo piloto de 5 empresas em Goiânia e 6 empresas em Brasília, cuja metodologia foi desenvolvida pela Universidade de Brasília e teve origem no Programa Entulho Limpo, concebido, elaborado e desenvolvido em parceria com o Sinduscon-DF, Eco Atitude Ações Ambientais e UnB (BLUMENSCHHEIN e SPOSTO, 2003).

Conforme descrito em Blumenschein e Sposto (2003) o Programa foi desenvolvido nas empresas em 6 módulos:

- Módulo 1 – Apresentação da metodologia para elaboração do Projeto de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção aos responsáveis pelas empresas e pelos canteiros de obras.
- Módulo 2 - Sensibilização dos operários nos canteiros de obras participante do projeto.
- Módulo 3 – Monitoramento da implantação dos Projetos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos elaborado pelas construtoras nas próprias empresas.
- Módulos 4 e 5 – Visita de monitoramento nos canteiro de obras visando a identificação de falhas e a introdução de ajustes.
- Módulo 6 – Avaliação do processo como um todo, reunião de análise crítica com todos os atores envolvidos.

Para Blumenschein (2007), as complexidades e os desafios do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em canteiros de obras podem ser citados como:

- o volume do resíduo produzido que justifique o esforço para a redução de sua geração;
- o número de participantes no processo construtivo que impacta no fluxo de informação falho;
- o número de agentes que compartilham a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos e o impacto gerado quando o setor público não cumpre com a sua responsabilidade e promove o

enfraquecimento das ações e dos esforços do setor produtivo e do terceiro setor;

- os escassos recursos para financiamento de projetos de pesquisa de novos materiais produzidos a partir da reciclagem de resíduos;
- as limitações de recursos dos municípios para enfrentarem os problemas de gestão ambiental;
- o potencial de reciclagem dos resíduos sólidos oriundos do processo construtivo (em torno de 80% dos resíduos de uma caçamba são recicláveis);
- a necessidade e responsabilidade do setor público de instituir instrumentos que controlem e estimulem a gestão dos resíduos gerados em canteiros de obras;
- a responsabilidade e o compromisso do setor produtivo em atender às legislações referentes ao tema.

Além das iniciativas já citadas, destacam-se as ações do Projeto COMPETIR, cooperação técnica internacional entre o Brasil e a Alemanha, por meio do SENAI-BA, do Serviço de Apoio às Pequenas e Médias Empresas da Bahia (SEBRAE-BA) e Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), parceiros no Projeto. Este Projeto teve como objetivo contribuir para o aumento da produtividade e competitividade das empresas de pequeno porte da região Nordeste do Brasil, tendo como uma de suas ações estratégicas a estruturação e implantação de Programa de Gestão de RCC em canteiros de obras nordestinos.

Com o apoio técnico e a experiência da empresa paulista Obra Limpa, foi desenvolvido o Programa de Gestão de Resíduos na Construção Civil (PGR), adaptando a metodologia experimentada pela referida empresa de consultoria em São Paulo à realidade nordestina.

Este Programa fornece às empresas construtoras, por meio de consultoria técnica especializada, ferramentas que permitem a gestão adequada dos resíduos de construção nos canteiros de obras, atendendo às exigências da Resolução 307/2002 do CONAMA. Na RMS, 25 (vinte e cinco) empresas já concluíram ou estão

em processo de implantação do Programa, algumas destas em mais de um canteiro, multiplicando a metodologia internamente na empresa.

A implantação do Programa, conforme figura 8, contempla o desenvolvimento de um conjunto de atividades realizadas dentro e fora dos canteiros, a saber: treinamento inicial, planejamento, implantação e monitoramento.

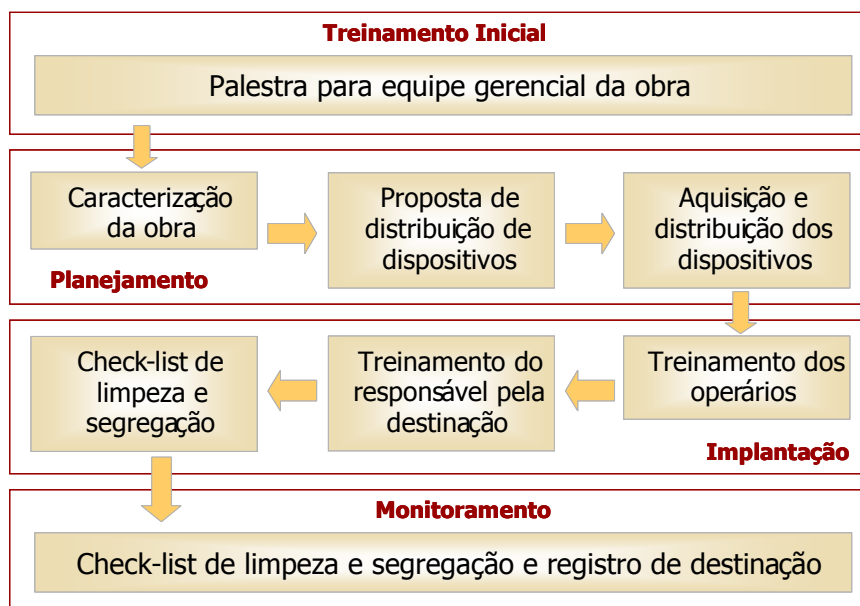


Figura 8 Etapas do programa de Gestão de Resíduos (LORDÉLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007)

Segundo Lordêlo, Evangelista e Ferraz (2007), o treinamento inicial é realizado com a direção da empresa e a equipe gerencial das obras, tendo como objetivos:

- sensibilizar as equipes quanto aos impactos ambientais causados pelas atividades de construção e demolição nas cidades;
- mostrar de que forma as leis e as novas diretrizes estabelecem um novo panorama para gerenciamento desses resíduos e suas implicações;
- estabelecer as alterações no dia-a-dia das obras e repassar as ferramentas a serem utilizadas.

O envolvimento e a participação dos diretores das empresas e dos gestores das obras onde o Programa está sendo implantado são de grande importância para o sucesso e para a qualidade dos resultados obtidos (LORDÉLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

Na etapa de planejamento é realizada a caracterização da obra, a elaboração do plano de gestão de resíduos e do orçamento. A caracterização contempla o levantamento de funcionários e equipes, da área de construção, do arranjo físico do canteiro, dos resíduos que serão gerados, dos sistemas construtivos adotados, da sistemática para a remoção dos resíduos e dos transportadores e locais de destinação dos resíduos já utilizados. No plano de gestão são previstos os dispositivos de coleta, sua distribuição e sinalização, local para destinação e cadastramento dos destinatários, registro da destinação e das possibilidades de reciclagem e reaproveitamento (LORDÉLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

Ainda no planejamento e para garantir a adequada segregação, foram identificados os fluxos físicos dos resíduos nos canteiros da geração até o acondicionamento final. Estes fluxos prevêm o acondicionamento inicial, o transporte interno e o acondicionamento final dos RCC (ALMEIDA et al., 2005). No quadro 5 é apresentado um fluxo básico para obras de edificações nos padrões convencionais. Este fluxo deverá ser adaptado para cada obra.

FLUXO INTERNO DE RESÍDUOS			
RESÍDUO	ACONDICIONAMENTO INICIAL	TRANSPORTE INTERNO	ACONDICIONAMENTO FINAL
Classe A (Alvenaria, argamassa, concreto, cerâmica)	Acondicionamento em pilha próximo ao local de transporte interno	Elevadores de carga ou condutores para resíduos	Caçambas estacionárias ou baias sinalizadas próximas ao local de coleta
Madeira	Bombonas plásticas (pequenos volumes) ou pilhas próximas ao local de transporte interno	Transporte horizontal manualmente e vertical com auxílio de elevador de carga. Sacos de rafia usados para auxiliar o transporte.	Baias sinalizadas próximas ao local de carregamento do caminhão
Serragem	Saco de rafia na frente de serviço e carpintaria		Saco de rafia na baia de madeira
Plástico	Bombonas plásticas a cada pavimento		<i>Big bags</i>
Papel e papelão	Bombonas plásticas (pequenos volumes) ou fardos próximos ao local de transporte interno		Big bags ou fardos protegidos da chuva
Metal	Bombonas plásticas		Baias próximas ao local de carregamento ou à serralheria
Gesso	Sacos de papelão (embalagem de gesso)		Caçambas estacionárias ou baias sinalizadas próximas ao local de coleta
Resíduos perigosos (Classe D)	Encaminhar para acondicionamento final	Transporte manual	Baia para resíduos perigosos
Resíduo orgânico	Lata de lixo com sacos plásticos	Manual	-

Quadro 5 Fluxo físico dos resíduos em canteiros de obras (ALMEIDA et al., 2005)

Na seqüência, e após a distribuição dos dispositivos, conforme figura 9, é iniciada a etapa de implantação com o treinamento dos operários para sensibilizá-los quanto à importância de sua contribuição e instruí-los quanto ao adequado manejo dos resíduos, visando, principalmente, sua correta triagem (Figura 10).



Figura 9 Dispositivos utilizados nos canteiros  
(LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007)

A equipe gerencial da obra é sensibilizada para a promoção de treinamentos quando do ingresso de novos operários ou mesmo quando se julgar necessário, diante das oportunidades de melhoria identificadas nas avaliações periódicas. Além do treinamento realizado com funcionários e terceiros, é feito um treinamento específico com os responsáveis pelo controle da destinação dos resíduos, onde são repassadas as orientações para a implantação dos controles operacionais (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).

A implantação de Programas como estes permitem aos gestores das obras a avaliação do montante de resíduos gerados, tanto em função dos custos de destinação associados, quanto à quantidade de matéria-prima não empregada no produto final (PESSOA, 2006).

Finalizando a etapa de implantação e iniciando o monitoramento, são realizadas avaliações, por meio de *check-list* que avaliam o desempenho da obra em relação à limpeza, segregação e destinação compromissada dos resíduos. Com base no *check-list* aplicado nas obras são elaborados relatórios de visita que têm como principal objetivo a apresentação sucinta dos resultados alcançados e os

pontos de melhoria identificados, além de enfatizar a questão da destinação compromissada dos resíduos (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007).



Figura 10 Treinamento dos operários no canteiro de obras (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007)

Para apoiar as ações de treinamento foi produzido no Projeto Estratégico do SENAI-DN - “Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil: Redução, Reciclagem e Reutilização como Alternativa Sustentável para Gestão dos Resíduos Classe A” (2006), as ferramentas: cartilhas, vídeo, camisas, bonés, cartazes e o livro “Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, Reutilização e Reciclagem” (Figuras 11 a 13).



Figura 11 Cartilha, camisa e boné utilizados nos treinamentos dos operários



Figura 12 Livro “Gestão de Resíduos na Construção Civil”



Figura 13 Cartazes distribuídos nos canteiros de obras

A mobilização empresarial frente às questões ambientais é de fundamental importância no encaminhamento de ações que possam ir além da gestão dos resíduos nos canteiros que, por si só, não conduz a plenitude da responsabilidade ambiental e social das empresas. Neste sentido, o incentivo a prática da reciclagem pode ser mais um passo no encaminhamento do setor para a redução dos impactos associados ao seu processo produtivo.

## 2.4 RECICLAGEM DE RCC

### 2.4.1 Panorama geral

Reduzir o resíduo na fonte induz ao reuso de produtos e à reciclagem interna. Considera-se redução na fonte, a partir do momento em que o resíduo não entra no fluxo dos resíduos do sistema municipal de limpeza urbana ou não implica em gastos com transporte, reciclagem, tratamento ou disposição final (AZEVEDO, KIPERSTOK e MORAES, 2006).

Segundo Leite (2001):

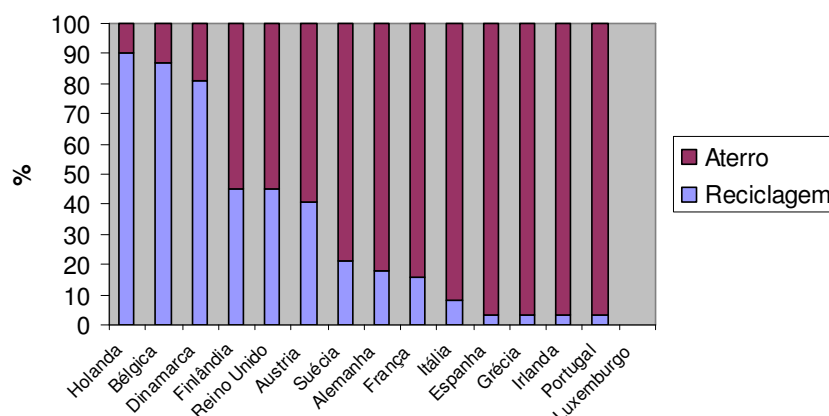
A reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos. Nos últimos anos a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões políticas, econômicas ou ecológicas. A reciclagem de

resíduos de construção irá minimizar também os problemas com o gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios. Haverá um crescimento da vida útil dos aterros, diminuição dos pontos de descarte clandestinos e redução dos custos de gerenciamento de resíduos. Adicionalmente, haverá um melhor bem estar social e ambiental.

A reciclagem de resíduos da construção não é uma prática nova. A maior difusão da reciclagem deu-se após a Segunda Guerra Mundial, inicialmente na Alemanha e, posteriormente, nos demais países da comunidade europeia. De acordo com Pinto (1999), em praticamente todos os países-membro existem instalações de reciclagem de RCC, normas e políticas para este tipo de resíduo, além de uma proposta para consolidação de normativa única de toda a comunidade. No Japão e nos Estados Unidos a reciclagem também tem sido bastante difundida e utilizada.

Puig (2006) apresenta, conforme dados consolidados na figura 14, os diferentes estágios em que se encontra a prática da reciclagem na Europa, por meio dos percentuais de resíduos que são encaminhados para aterros ou reciclados em diversos países. A prática mais intensa da reciclagem de RCC no continente europeu é promovida por diversos fatores, entre os quais, o alto custo do agregado natural, altas taxas para destinação destes resíduos em aterros e uma maior consciência ambiental por parte dos construtores.

#### RECICLAGEM DE RCDs NA EUROPA



Fonte: Report to DGXI, European Construction and demolition waste management practices and their economic impacts. Final report, 1999

Figura 14 Situação da Reciclagem de RCDs na Europa (PUIG, 2006)



Já no Brasil a reciclagem dos RCC é mais recente. Alguns estudos foram realizados e paralelamente a estes, no início da década de 80, se difundiu o uso de “maseiras-moinho”, equipamento de pequeno porte que possibilita a moagem intensa de resíduos menos resistentes para reutilização. O resultado da sua utilização é bastante positivo, pois possibilita a redução dos custos das perdas nos processos, induz ao gerenciamento dos resíduos na obra, além de contribuir para minimizar o impacto ambiental dos RCC nos centros urbanos (PINTO, 1999).

Devidamente reciclado, o entulho apresenta propriedades físicas e químicas apropriadas para o seu emprego como material de construção. No entanto, é importante ressaltar que o entulho apresenta características bastante peculiares. Existe uma grande diversidade de matérias-primas, técnicas e metodologias, empregadas na construção civil, que afetam de modo significativo, as características dos resíduos gerados, principalmente, quanto à composição e à quantidade. Portanto, o nível de desenvolvimento da construção local reflete-se nas características dos materiais constituintes do entulho, ou seja, a caracterização desse resíduo está condicionada a parâmetros da região de origem (CARNEIRO et al., 2001).

A reciclagem de RCC no Brasil está ainda muito atrasada e ocorre em escala reduzida se comparada a outros países. Porém, em função de suas características a construção civil do País apresenta enorme potencial de ampliação.

Como vantagens da reciclagem, podem ser citadas (LORDÊLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007; LIMA et al., 2007):

- redução com gastos para destinação dos resíduos;
- redução do consumo dos agregados naturais e, conseqüentemente, os impactos ambientais causados pelo seu processo de extração;
- redução da poluição e do consumo de energia para a produção de novos agregados;
- redução do volume de resíduos encaminhados para os aterros;
- possibilidades de novo negócio, gerando emprego e renda.

Para Lordêlo, Evangelista e Ferraz (2007), apesar das vantagens consideradas, principalmente, nos aspectos sócio-ambientais, existem outros fatores que dificultam o processo de disseminação desta prática, como:

- o pequeno número de empresas que praticam a gestão diferenciada em seus canteiros;
- a falta de segregação adequada dos resíduos recicláveis;
- o baixo nível tecnológico na construção civil;
- o receio da qualidade dos materiais de construção fabricados com agregado reciclado;
- o baixo custo dos agregados naturais;
- a falta do estímulo da reciclagem como oportunidade de negócio;
- o baixo investimento dos municípios para este fim;
- baixo conhecimento dos construtores e do Poder Público sobre o tema.

Porém, a elevada geração de resíduos sólidos pelo setor da construção civil, como visto ao longo deste trabalho, demanda a proposição urgente de ações coordenadas e políticas que promovam a valorização dos RCC e sua reciclagem.

#### **2.4.2 Iniciativas municipais de reciclagem de RCC no Brasil**

No Brasil, a utilização de agregados reciclados em larga escala ainda não constitui prática amplamente difundida entre nossos municípios, ou seja, a implantação de usinas de reciclagem com produção regular e padrões de qualidade definidos, ainda não se transformou em rotina adotada pelas prefeituras das cidades brasileiras, nem pela iniciativa privada, porém alguns municípios estão procurando se organizar no sentido de adotar uma política de gerenciamento dos seus resíduos sólidos com o objetivo de transformá-los, de forma empresarial, em agregados reciclados (LEVY, 2001).

A concentração das iniciativas públicas para a reciclagem de RCC ainda está localizada nos estados de São Paulo e Minas Gerais. As recentes mudanças nos processos de gestão dos resíduos nos canteiros, a melhoria dos procedimentos de demolição e de especialização no tratamento e reutilização dos RCC vão

estabelecendo um novo cenário no sentido de se usar com cautela os recursos, que são finitos, e de não sobrecarregar a natureza com dejetos evitáveis (PINTO, 1999).

Apesar do caráter incipiente da reciclagem no Brasil, podem ser citadas algumas iniciativas de agentes públicos municipais.

Como uma das iniciativas mais significativas no país vale citar o exemplo do município de Belo Horizonte, onde foi estabelecido um amplo plano de gestão para os resíduos da construção civil. Os RCC em Belo Horizonte representam, em média, 34% dos resíduos destinados diariamente para os equipamentos públicos (SINDUSCON-MG, 2006).

Em Belo Horizonte, os volumes iguais ou inferiores a 2m<sup>3</sup>/dia por obra/reforma, poderão ser transportados por carroças. Os carroceiros que participam do Programa de Reciclagem de Entulho da Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte (SLU/PBH) devem destinar o material coletado para as Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV). Os caminhões e a carroças deverão estar devidamente cadastrados nos órgãos competentes da Prefeitura e aptos a realização deste serviço.

Os resíduos de blocos cerâmicos e de concreto gerados no município de Belo Horizonte podem ser destinados para uma das três usinas de reciclagem de entulho da SLU/PBH. Atualmente existem três unidades em funcionamento: Usina do Estoril, Usina da Pampulha e Usina BR 040 (SINDUSCON-MG, 2006).

O recebimento dos resíduos é gratuito, desde que observadas as exigências:

- teor máximo de 5% de outros resíduos (plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros materiais recicláveis);
- ausência de terra, matéria orgânica, gesso e amianto;
- em caso de grandes volumes, deve ser feita programação junto a SLU/PBH.

Os resíduos que tenham condições de reutilização, devidamente segregados, poderão ser destinados alternativamente para o “Brechó da Construção”, projeto que destina os materiais para melhoria de habitações de famílias de baixa renda.

Com o objetivo de facilitar o recebimento do entulho de obras em suas usinas de reciclagem, a SLU/PBH desenvolveu uma classificação própria para os resíduos classe A, conforme Resolução CONAMA 307/2002.

A classificação desenvolvida pela SLU/PBH compreende:

- Produtos à base de cimento Portland: resíduo composto à base de concreto e argamassa sem impurezas, tais como gesso, terra, metais, papel, vidro, plástico, madeira madura, matéria orgânica. Destinação: preparação de argamassa e concreto não-estrutural.
- Produtos à base de argila: resíduo de composição à base de produtos cerâmicos, em que se admite a presença de concreto e argamassa, sem a presença de impurezas. Destinação: base e sub-base de pavimentação, drenos, camadas drenantes, rip-rap e como preenchimento de valas.

Os resíduos para serem recebidos pelas Usinas de Reciclagem devem atender às exigências de pureza determinadas pela SLU/PBH. Esse fato torna a segregação dos resíduos da construção no canteiro um passo extremamente importante dentro do processo de gestão dos resíduos (SINDUSCON-MG, 2006). A segregação deve ser feita de modo a evitar as contaminações apresentadas no quadro 6.

<b>CONTAMINAÇÃO DE RESÍDUOS</b>	
<b>RESÍDUO (CLASSIFICAÇÃO SLU)</b>	<b>CONTAMINANTES</b>
<b>Resíduos à base de cimento Portland (concreto, argamassa e outros)</b>	Amianto
	Gesso
	Matéria orgânica
	Materiais potencialmente recicláveis: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros
	Recipientes de tintas e outros recipientes
	Outros que forem advindos de cimento Portland
	Resíduos à base de produtos de cerâmica vermelha
	Terra
<b>Resíduos gerados a partir de produtos de cerâmica vermelha</b>	Amianto
	Gesso
	Matéria orgânica
	Materiais potencialmente recicláveis: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros
	Recipientes de tintas e outros recipientes
	Outros que forem advindos de cimento Portland
	Terra

Quadro 6 Contaminação dos resíduos (SINDUSCON-MG, 2006)

No quadro 7 estão descritos os agregados e a aplicação recomendada. Os agregados são comercializados nas próprias usinas (SINDUSCON-MG, 2006).

<b>MATERIAIS PRODUZIDOS NA USINA DE RECICLAGEM SLU/PBH</b>			
<b>PRODUTO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO RECOMENDADO</b>	<b>USINA</b>
Areia Reciclada	Material com dimensão máxima de 4,8 mm	- Fabricação de artefatos de concreto sem fins estruturais, tais como blocos de vedação, pisos intertravados, guias (meio-fio); com o devido acompanhamento tecnológico.	Usina BR 040
Brita 0	Material com dimensões entre 4,8 mm e 9,5 mm		Usina BR 040
Brita 1	Material com dimensões entre 9,5 mm e 19mm		Usina BR 040
Rachão	Material com dimensões acima de 19mm		Usina BR 040
Bica corrida	Material com dimensões e composição variadas	- Base e sub-base de pavimentação de vias - Preenchimento de valas, regularização de vias não pavimentadas etc.	Usina BR 040, B. Estoril B. Pampulha

Quadro 7 Materiais produzidos pelas usinas de reciclagem da SLU/PBH (SINDUSCON-MG, 2006)

Em São Paulo existe um bom número de EcoPontos, ou seja, instalações públicas para o recebimento de pequenos volumes de RCC, uma área de reciclagem pública, diversas ATTs e áreas de reciclagem privadas e aterros. O maior município do país dispõe da Portaria 6787/2005 que institui a LETP – Licença Especial à Título Precário, que tem por objetivo dar agilidade ao processo de licenciamento de ATTs privadas, pela sua importância na gestão dos RCC no município. A utilização de agregados reciclados em obras públicas é ainda permitida e incentivada em São Paulo (BRASIL, 2005).

Diversos municípios do estado de São Paulo apresentam legislação própria, programas específicos e infra-estrutura que favorecem a prática da reciclagem dos RCC (BRASIL, 2005).

O município paulista de Campinas possui uma Unidade Recicladora de Materiais (URM) que processa diariamente cerca de 700 toneladas de entulho que são transformados em diversos subprodutos para utilização em obras públicas. O entulho passa por duas etapas de triagem antes de seguir para o processo de britagem. A usina conta com esteiras transportadoras, um britador de impacto com capacidade de processamento de 80 toneladas/hora, esteira com eletroímã, peneira

mecânica e outros dispositivos, além de aspersores de água que controlam a poeira resultante do deslocamento do entulho (PITTA, 2005).

Segundo Pitta (2005), na URM são produzidos materiais como areia e brita de vários tamanhos que servem para cobertura do lixo depositado no aterro sanitário ao lado da Unidade, na manutenção de ruas de terra, no revestimento de construção e melhorias em pátios de escolas, creches e outros equipamentos públicos. Existem planos futuros para utilização dos agregados reciclados na produção de pré-moldados, como guias, sarjetas, blocos, mesas e bancos para praças.

Segundo relatório do Ministério das Cidades (BRASIL, 2005), a Lei 9393/2004 e o decreto 12751/2005, respectivamente, instituem e regulamentam o plano integrado de gerenciamento dos resíduos da construção do município paulista de São José do Rio Preto. No referido município existem pontos de entrega públicos para recebimento de pequenos volumes de RCC e uma central de processamento de resíduos, onde se opera a triagem geral dos resíduos e a reciclagem dos resíduos classe A e madeira.

Na cidade de Guarulhos o plano integrado de gerenciamento dos resíduos de construção está em implantação. No município existem 11 instalações públicas (pontos de entrega) para recebimento de pequenos volumes, além de uma área de tiragem pública, três ATT privadas e uma área de reciclagem privada e outra pública. Existem também dois aterros de RCC (BRASIL, 2005).

O município de Americana, São Paulo, dispõe de uma única usina de processamento e reciclagem de resíduos sólidos da construção civil na região. A usina recebe cerca de 300 toneladas de resíduos diariamente e produz aproximadamente 10 mil metros cúbicos de produtos reciclados por mês, como areia, brita, pedra, pedrisco, composto orgânico e terra vegetal (AMERICANA/SP, 2008). Além da usina, o município adota política de incentivo a utilização de agregados reciclados por meio do decreto nº 7.730/2008, que dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de agregados reciclados, oriundos de resíduos sólidos da construção civil, em obras e serviços de pavimentação das vias públicas do referido município.

Segundo Zordan (1997), a cidade de Ribeirão Preto inaugurou sua usina de reciclagem de RCC em setembro de 1996, quando foi iniciado de forma

experimental seu sistema de produção. A intenção era a utilização dos agregados reciclados em sub-base de estradas, contenção de encostas, calçamentos de concreto e até mesmo na fabricação de blocos de concreto.

A infra-estrutura montada contemplou os equipamentos relacionados (MAQBRI, 1996 *apud* ZORDAN, 1997):

- Alimentador vibratório apoiado com capacidade de 30 a 50 m<sup>3</sup>/ hora;
- Britador de impacto com capacidade de 30 t/ hora, em circuito aberto;
- Transportador de correia móvel com velocidade de trabalho de 90 m/ min;
- Eletroímã suspenso em regime de trabalho contínuo;
- Sistema nebulizador para contenção de material particulado;
- Sistema de contenção de ruídos com manta de borracha anti-choque;
- Estrutura metálica de sustentação de todo o conjunto.

São Bernardo, município paulista, conta com área de reciclagem privada de grande porte que abastece o mercado local com agregados reciclados (BRASIL, 2005).

Segundo Fagury e Grande (2007), o poder público da cidade de São Carlos aprovou a Lei nº 13.867, de 12 de setembro de 2006, instituindo o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil. A lei institui os fluxos, atores envolvidos, destinação adequada dos RCC e abrange a criação de ecopontos para recebimento e triagem de pequenos volumes.

O município também possui uma usina de reciclagem com capacidade para britagem de 20t/hora e está associada a uma fábrica de artefatos de cimento para a utilização dos agregados reciclados. A coleta do entulho e o transporte até a usina são realizados por empresas particulares e o custo é de responsabilidade dos geradores (FAGURY e GRANDE, 2007).

Outra iniciativa que pode ser citada é a do Rio de Janeiro que em 1994 adquiriu moinho portátil conhecido como argamasseira Anvi e utilizou o equipamento para resolver o problema provocado pela deposição indevida de 30 m<sup>3</sup> diários de entulho na ilha de Paquetá. O material reciclado foi utilizado na produção de argamassa grossa de recapeamento das ruas, anteriormente feito com saibro. Numa

segunda etapa, a prefeitura do Rio pretendia confeccionar argamassa para baratear as construções populares na ilha (TÉCHNE, 1995 *apud* ZORDAN, 1997).

Como já foi visto anteriormente, o entulho de Salvador é composto, em sua maioria, por materiais com alto potencial de reciclagem, o que favorece o incremento desta prática no município (CARNEIRO et al., 2001). Vê-se também a existência de legislação nacional e municipal, além de normas técnicas que dão suporte ao uso do agregado reciclado em diversas aplicações com sucesso. Existe um projeto de implantação de usina de reciclagem com fábrica de artefatos de cimento com agregado reciclado que seria de grande importância para viabilizar a destinação responsável dos resíduos classe A provenientes dos pequenos e grandes geradores do município (LIMPURB, 2006).

Para Sposto (2006), em função do elevado volume dos RCC, faz-se necessário o seu manejo ambientalmente adequado, incluindo soluções para redução, reutilização e reciclagem. Esta situação pode ser viabilizada pela criação de um sistema eficiente de gestão municipal que inclua programas de coleta seletiva nos canteiros de obras e o licenciamento de áreas adequadas para a disposição e reciclagem destes resíduos.

### **2.4.3 Reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras**

A reciclagem além de ser promovida em instalações permanentes, pode ser realizada no próprio canteiro, utilizando equipamentos móveis. Esta abordagem remete a execução dos processos de britagem e peneiramento no próprio local de produção dos resíduos e de utilização do agregado reciclado, assim que é processado. Esta prática reduz o consumo de agregados naturais, a destinação em aterros, os custos de transporte, energia e desgaste com estradas e equipamentos (GOONAN, 2000).

Apesar da reciclagem em canteiros de obras no Brasil ser uma atividade pouco disseminada, é possível citar algumas iniciativas de construtores que percebem nesta prática uma alternativa viável e ambientalmente responsável para a destinação dos resíduos classe A gerados pelos seus empreendimentos.

Em São Paulo, algumas empresas optaram pela reciclagem em seus próprios canteiros de obra, fruto da necessidade de aproveitar resíduos de obras de



demolição e das grandes distâncias para destinação. A construtora A<sup>4</sup>, por exemplo, reciclou 500 m<sup>3</sup> de resíduos classe A em canteiro de obra residencial com 75 unidades habitacionais e aproveitou o agregado reciclado na pavimentação. Já a construtora B para a construção de 390 casas em São Paulo, aproveitou a demolição de antigas edificações para liberação do terreno, e após avaliação técnica, ambiental, social e econômica, a empresa promoveu a reciclagem de 12.000 m<sup>3</sup> de resíduo classe A no referido canteiro, aproveitando o agregado para produção de concreto, blocos e elementos pré-moldados.

Na cidade de Maceió – AL, as construtoras C e D promoveram a reciclagem de resíduos classe A em canteiro de obra residencial. As empresas segregaram adequadamente todos os resíduos gerados e os resíduos classe A foram triturados e peneirados, sendo o agregado reciclado utilizado na produção de bloquetes para pavimentação e argamassa para assentamento de alvenaria, emboço e contrapiso.

A Craft Engenharia é uma empresa brasileira especializada em construção pesada, demolições, terraplenagem e pavimentação e que investiu em equipamento móvel de britagem de origem austríaca com capacidade de processamento de 200 toneladas/hora para geração de agregados reciclados semelhantes à brita para utilização no próprio canteiro de obras. Com cerca de um ano de operação a recicladora móvel demonstrou sua eficiência em dez obras de grande porte com volume total de 40 mil toneladas de material reciclado, das quais 85% foram utilizadas nas próprias obras, em aterros, reforço de sub-leito e na construção de sub-base de pavimentação (MAXPESS NET, 2008).

Outro exemplo citado por Carvalho (2007) é o da divisão ambiental da Caenge, tradicional construtora do Distrito federal, que montou usina de reciclagem móvel para aproveitamento de cerca de 10.500 m<sup>3</sup> de entulho gerado pela implosão um prédio abandonado por 15 anos em Brasília. A Caenge concedeu ao cliente 40% de desconto no serviço de demolição em troca de toda a matéria-prima e da autorização para beneficiar os resíduos no próprio canteiro, reduzindo os custos da demolidora com carga e transporte do agregado reciclado. O agregado resultante da reciclagem foi aplicado em obras de pavimentação da própria empresa, de recuperação de áreas degradadas e de drenagem de líquidos e gases do aterro

---

<sup>4</sup> Para identificar as construtoras foram utilizadas iniciais maiúsculas como forma de manter o sigilo de sua identidade. Os dados apresentados foram levantados em visitas realizadas pela autora.

sanitário de Brasília operado pela Caenge. Já o aço foi comercializado no mercado local.

Silva et al. (2006) citam uma experiência de reciclagem realizada em canteiro de obras de edifício comercial de 22 andares, com 270 m<sup>2</sup> cada, na cidade de São José dos Campos. A empresa utiliza equipamento móvel de britagem de pequeno porte com capacidade de produção de 20 m<sup>3</sup> de agregado por dia, dotado de bica alimentadora, três moedores, esteira vibratória acoplada a uma peneira, permitindo a fabricação de agregados miúdos e graúdos. Os agregados gerados foram utilizados na fabricação de argamassas de revestimento e assentamento. Como resultado desta experiência os autores citaram a redução de 2/3 do custo com aquisição da areia natural e 95% de redução com gastos para descarte do entulho da obra.

Pode ser citada a experiência de reciclagem na RMS da Construtora Everest Construmar que adquiriu triturador de entulho, em 1997, promovendo desde então esta prática em seus canteiros. O material é segregado logo após a geração, transportado para silos e seguem para a moagem no triturador. Depois de triturado, o material é peneirado e é utilizado na substituição da areia natural na fabricação de argamassas de contrapiso e para assentamento de alvenaria e no emboço interno.

Segundo Sales (2006), em pesquisa realizada para utilização de agregados reciclados em canteiros de obras na cidade de Aracaju - SE, é possível ter desempenho mecânico em níveis aceitáveis, como os obtidos nas utilizações em blocos pré-moldados de concreto, em argamassa para contrapiso e nos concretos de baixa resistência. Apesar das limitações de uso destes agregados em aplicações com função estrutural, existe um grande leque de oportunidades de se aplicar estes agregados como insumo de forma economicamente satisfatória e ambientalmente responsável.

## 2.5 APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

### 2.5.1 Aspectos gerais

Segundo Levy (2001), agregados reciclados, de alvenaria ou de concreto, devem ser considerados como sendo todos os materiais granulares obtidos por

processos mecânicos de desintegração (britagem) e utilizáveis com meio cimentante para formação de concretos ou argamassa. Dependendo de sua granulometria são classificados em agregados graúdos ( $D_{máx.} > 4,8 \text{ mm}$ ) ou miúdos ( $4,8 < D_{máx.} < 0,75 \text{ mm}$ ).

Os RCC são formados de uma grande variedade de componentes. A proporção destes materiais em diferentes amostras é muito variável e de grande heterogeneidade. Este é um dos motivos da baixa utilização de agregados reciclados, a sua natureza variável dificulta o seu aproveitamento pela indústria (VIEIRA e DAL MOLIN, 2004).

Vários estudos foram realizados para avaliar a viabilidade técnica, e em alguns casos econômica, da utilização de agregados reciclados de RCC na fabricação de materiais de construção como concretos, argamassas, blocos de concreto, elementos pré-moldados e em pavimentação.

Como já citado anteriormente existem normas brasileiras que regulamentam a aplicação destes agregados e os requisitos que eles devem atender:

- 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.

A seguir são apresentadas, resumidamente, algumas pesquisas que validam tecnicamente a aplicação dos agregados de resíduos classe A na fabricação de materiais de construção e os aspectos que devem ser avaliados e cuidados que devem ser tomados para garantir a manutenção das características básicas e dos requisitos de desempenho requeridos para estes materiais.

### **2.5.2 Aplicação em argamassas e concretos**

Vieira e Dal Molin (2004) realizaram pesquisa para avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em concretos. As autoras realizaram uma comparação entre concretos produzidos com agregados naturais e reciclados com substituições da

ordem de 50 e 100% de agregados graúdos (AGR) e miúdos (AMR) em 5 composições.

Os resíduos utilizados foram provenientes de uma obra de demolição na cidade de Maceió e apresentaram a seguinte composição: 48% de material cerâmico, 19% de concreto, 28% de argamassa, 3% de cerâmica polida e 2% de outros materiais.

Para os agregados naturais e reciclados foram realizados ensaios de massa específica e absorção de água. Enquanto que para massa específica os valores foram parecidos, as taxas de absorção de água dos agregados reciclados foram bem superiores.

Para Vieira e Dal Molin (2004), é muito importante determinar a absorção de água dos agregados reciclados, pois ela determina o percentual de água que deverá ser suprido pouco antes das concretagens para não acarretar problemas quanto ao fator água - cimento ( $a/c$ ), o abatimento e a trabalhabilidade das misturas de concreto pela falta de água. Esta compensação deve ser bastante cuidadosa para que não provoque excesso de água na mistura, saturando os agregados, elevando o fator  $a/c$  e a conseqüente redução das resistências mecânicas dos concretos produzidos.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão e durabilidade para os concretos com agregado natural (mistura de referência) e para as 5 misturas com a substituição de agregados reciclados (100% AMR e 50%AGR; 100% AMR e 0% de AGR; 50% AMR e 50% AGR; 0% AMR e 100% AGR; 100% AMR e 100% AGR). Quanto a resistência à compressão, o ganho foi observado em todas as classes de resistências, tendo seu melhor desempenho para o traço 100% de AMR e 50% de AGR com a relação  $a/c = 0,80$ , onde a resistência apresentada foi 56% maior a do concreto de referência (VIEIRA e DAL MOLIN, 2004).

Quanto à durabilidade, o melhor desempenho deu-se para o traço 100% de AMR e 0% de AGR para todas as relações  $a/c$  estudadas. Segundo Vieira e Dal Molin (2004), este traço que também apresentou valores de resistência à compressão superiores ao traço de referência, consegue tal desempenho em função da grande quantidade de finos e maior capacidade de preenchimento dos vazios, o que pode explicar também seu bom desempenho em relação à corrosão e estimativa de vida útil superior.

Os resultados desta pesquisa indicaram que os agregados reciclados em proporções devidamente dosadas podem melhorar algumas propriedades do concreto como a sua resistência à compressão e durabilidade. A análise da viabilidade foi superficial restringindo-se a comparação de preços entre agregados naturais e reciclados (VIEIRA e DAL MOLIN, 2004).

Oliveira, Oliveira e Ferreira (2008) também desenvolveram estudo de viabilidade do uso de agregados reciclados de construção na fabricação de concreto. Os referidos autores coletaram RCC em obra vertical na fase entre elevação da alvenaria e estrutura. O resíduo foi triturado em britador de mandíbula, resultando em granulometria equivalente a brita de 19 mm e após o peneiramento obteve-se agregado miúdo e graúdo. Com estes resíduos foram moldados corpos de prova com concreto convencional e concreto fabricado com agregado reciclado e avaliado seu desempenho por meio de ensaios não destrutivos como o de ultra-som e esclerometria e ensaios destrutivos de resistência à compressão.

Nesta pesquisa os resultados obtidos indicaram a necessidade de aumento do consumo de cimento para manutenção do mesmo fator água-cimento ( $a/c$ ) e mesmo abatimento. Também foram obtidos valores inferiores de resistência dos concretos com agregado reciclado. Apesar dos resultados encontrados, os autores relatam que a utilização do agregado reciclado trará grande benefício ambiental à sociedade (OLIVEIRA, OLIVEIRA e FERREIRA, 2008).

Leite (2001) desenvolveu pesquisa para avaliar a possibilidade de utilização de resíduos gerados pela construção civil, substituindo total ou parcialmente o agregado natural na produção de concretos convencionais. Neste trabalho foram avaliadas algumas propriedades físicas dos agregados reciclados e comparados os resultados obtidos com as especificações da Norma Brasileira para agregados naturais, a exemplo da granulometria, massa específica e taxa de absorção.

Foram avaliadas também por Leite (2001) diferentes proporções de substituição do agregado natural pelo reciclado na produção de concretos reciclados e sua influência nas propriedades do concreto no estado fresco (massa específica e trabalhabilidade) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e módulo de

deformação do concreto), além da análise da resistência à compressão com a idade dos concretos produzidos.

São citadas a seguir algumas conclusões do trabalho realizado por Leite (2001):

- As reduções nas massas específicas e unitárias dos agregados reciclados demonstram a necessidade de compensar o volume deste material quando utilizado na fabricação de concretos obtidos a partir de traços de concretos convencionais.
- As taxas de absorção dos agregados reciclados são bastante elevadas e desta forma precisam ser compensadas durante a produção dos concretos para que não haja diminuição excessiva da água livre neste processo, o que pode comprometer a trabalhabilidade. No entanto, é importante observar que não é necessário compensar totalmente a taxa de absorção do agregado reciclado, sendo suficiente compensar entre 40 e 50 % com base na curva de absorção e o agregado reciclado deve ser incorporado à mistura previamente umedecido.
- A forma lamelar dos agregados reciclados e a sua textura rugosa podem prejudicar a trabalhabilidade dos concretos produzidos. A avaliação da trabalhabilidade do concreto reciclado deve estar mais vinculada ao conceito de “moldabilidade” que ao valor de abatimento dos concretos.
- Para produzir concreto com agregados reciclados pode ser seguida a mesma ordem de mistura utilizada para os concretos convencionais, assim como os mesmos procedimentos de adensamento e cura. Caso haja necessidade de utilizar aditivos, o mesmo pode ser feito antes da adição da areia, para que este atue de forma mais eficiente sobre as partículas de cimento.
- A redução da massa específica dos concretos reciclados é tanto maior, quanto maior é a utilização de AGR - Agregado Graúdo Reciclado e quanto maior a relação a/c utilizada. O AMR - Agregado Miúdo Reciclado influencia na diminuição da massa específica do concreto, porém em menor proporção.

- A resistência à compressão dos concretos é muito influenciada pela porosidade dos materiais que o compõe, desta forma quando se utiliza agregado reciclado nas misturas de concreto, a relação a/c e a utilização de AGR são os fatores que mais influenciam na determinação da resistência. Quanto maior a relação a/c, menor é a resistência do concreto.
- Comprova-se a viabilidade da utilização apenas do AMR em substituição total ou parcial do agregado miúdo natural, principalmente para baixas relações a/c e que o uso de AMR e AGR combinados nas misturas de concreto com altas relações a/c também é viável.
- O estudo da resistência à tração dos concretos reciclados apresentou uma tendência à redução dos valores de resistência, com o aumento da relação a/c e da dimensão do agregado reciclado utilizado, em virtude da fragilidade do material.
- A avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente na composição do RCD, tanto em relação à cal quanto ao cimento, pode ter contribuído para o aumento observado no ganho de resistência dos concretos reciclados com este material.

Tenório et al. (2008) desenvolveram estudo com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados para avaliar a possibilidade de sua aplicação em elementos estruturais. Neste trabalho foram utilizados RCC britados em laboratório para a obtenção de agregados miúdo e graúdo. Foram produzidos diversos traços com diferentes relações a/c e combinações de agregados reciclados graúdos e miúdos com areia natural, além da produção de concretos de referência com agregados naturais. Esta pesquisa indicou a existência de potencial para a aplicação de agregados reciclados na fabricação de concretos com função estrutural (TENÓRIO et al., 2008).

Em outros países, a exemplo da Alemanha, tem-se ampliado os estudos para comprovar a viabilidade do uso do concreto com agregados reciclados em aplicações estruturais, inclusive com a existência de normas regulamentadoras para seu uso (WEIL, JESKE e SCHEBEK, 2006). Ainda segundo os autores, a substituição de agregados reciclados por agregados naturais na produção de concretos pode alcançar até 44% do volume total deste agregado mineral.

Outra experiência internacional que pode ser citada foi a pesquisa realizada por Benge, Pena e Ortiz (2008) que investigaram a influência do uso dos agregados reciclados nas propriedades mecânicas dos concretos. O foco do trabalho foi a avaliação da resistência à compressão e da porosidade. Foram contempladas na pesquisa três misturas, uma experimental com agregado natural e duas com diferentes percentuais de agregados miúdo e graúdo reciclados.

Os autores puderam concluir que, em geral, a substituição de agregados naturais por agregados reciclados em concretos, apresenta resultados compatíveis no que diz respeito à resistência à compressão. No entanto, mais estudos se fazem necessários nos aspectos relativos à durabilidade, absorção do concreto, à difusão de cloretos e de oxigênio, permeabilidade e os efeitos pozolânicos.

Turmina e Barros (2002) realizaram estudo das características de argamassas para contrapiso e o comportamento destes contrapisos produzidos utilizando agregado reciclado de resíduos de construção. Promoveram também estudo comparativo dos resultados obtidos com os registrados para contrapisos convencionais utilizando composição de cimento e areia natural.

Turmina e Barros (2002) sinalizaram a viabilidade da utilização de agregados reciclados na produção de argamassa para contrapiso. Constataram que o teor de água de amassamento utilizada no preparo destas argamassas, principalmente nos casos de agregados oriundos de entulho com materiais cerâmicos, é sempre superior ao utilizado em argamassas produzidas com areia natural.

Na pesquisa em questão as argamassas produzidas com agregado reciclado apresentaram resistências à tração e compressão superiores às argamassas de referência, além de uma distribuição granulométrica melhor o que contribuiu para uma maior compacidade da argamassa e conseqüentemente, sua maior resistência mecânica (TURMINA e BARROS, 2002).

### **2.5.3 Aplicação em blocos de concreto**

Sousa, Bauer e Sposto (2002) investigaram o uso de agregados provenientes da reciclagem de RCC na produção de blocos de concreto. Foram estabelecidos traços com materiais convencionais (referência) e com diversas variações no percentual de agregado reciclado na composição do agregado total. As amostras de



entulho para este estudo tiveram origem em canteiro de obras de um edifício multipavimentos localizado em Brasília. Após o processo de britagem e peneiramento, os agregados naturais e reciclado, na fração graúda, foram ensaiados em: módulo de finura, dimensão máxima característica, teor de materiais pulverulentos, absorção de água, massa específica unitária e massa específica real.

Quando da produção dos blocos foram percebidas algumas diferenças de comportamento como maior grau de adensamento das partículas e certa dificuldade de adensamento das misturas com agregado reciclado. Estas diferenças foram justificadas pela presença de materiais argilosos, alto índice de materiais pulverulentos e alta porosidade e índice de absorção. Os blocos produzidos com composição de substituição entre as faixas de 30 e 50% tiveram resultados de resistências próximos dos valores obtidos com a série de referência. Considerando os resultados gerais desta pesquisa, aponta-se para potencialidades de utilização do entulho na produção de blocos de concreto e de outros elementos pré-moldados com processo de produção semelhante (SOUSA, BAUER e SPOSTO, 2002).

Sales e Santos (2009) desenvolveram um trabalho que objetivou estudar as características físicas e mecânicas de blocos para alvenaria, sem função estrutural, produzidos com agregado reciclado. O agregado em questão foi britado no próprio canteiro da obra de uma empresa de grande porte, na cidade de Aracaju e os respectivos blocos foram produzidos na fábrica de pré-moldados da mesma empresa. Na referida pesquisa foi utilizado o mesmo equipamento de britagem móvel que foi utilizado nos estudos de caso desta dissertação. Foram produzidos blocos com dois traços em massa (1:12 e 1:13) e com consumo de cimento similar ao aplicado na fabricação dos blocos convencionais. Para os dois traços produzidos com agregado reciclado, os resultados obtidos quanto à resistência à compressão foram superiores, em quase 50%, se comparados aos resultados dos blocos produzidos com agregado natural (SALES e SANTOS, 2009).

#### **2.5.4 Aplicação em pavimentação**

Barbosa Júnior e Fortes (2008) realizaram estudo da utilização de agregados reciclados, oriundos de corpos de prova utilizados em ensaios de controle tecnológico, em mistura de concreto de cimento Portland para pavimentação (placas de concreto). Foram estudados separadamente os agregados provenientes de

corpos de prova de concreto, blocos de concreto e materiais cerâmicos ensaiados em laboratório. Os agregados reciclados foram caracterizados com os seguintes ensaios: teor de materiais pulverulentos, massa específica aparente, absorção de água, massa unitária, composição granulométrica e impurezas orgânicas e húmicas.

Foram feitas quatro dosagens, uma de referência e outras três utilizando agregados reciclados das três origens citadas acima e realizados ensaios do concreto no estado fresco e endurecido. Neste estudo, com o objetivo de avaliar a influência da idade nos resultados de resistência à compressão e à tração na flexão, foram realizados ensaios com corpos de prova após dois anos de idade. Estes corpos de prova apresentaram uma nítida melhoria das características citadas acima, principalmente dos materiais com uso do agregado de material cerâmico, sinalizando que este material também tem espaço para utilização desde que dosado adequadamente (BARBOSA JÚNIOR e FORTES, 2008).

Barbosa Júnior e Fortes (2008) recomendam o uso de agregados reciclados desde que sua utilização seja feita de forma racional e evitando-se as misturas de materiais de comportamento muito diferente, procurando selecionar materiais de comportamento similar com é o caso de blocos de concreto, argamassas e concretos.

Motta (2005) desenvolveu pesquisa com o objetivo de avaliar aspectos físicos e o comportamento mecânico de agregados reciclados de RCC para uso em camadas de base, sub-base ou reforço do subleito, com enfoque em vias de baixo volume de tráfego. Após a realização de diversos ensaios, foi verificado que o agregado reciclado em geral absorve muita água (cerca de 8%) em relação aos materiais convencionais (em torno de até 2%), certamente devido à sua maior porosidade, e isto implica em necessidade de maior quantidade de água por ocasião da compactação. Os resultados de resistência apresentaram-se satisfatórios e outros precisam ser mais aprofundados. Recomendou-se a utilização do agregado reciclado em vias de baixo volume de tráfego, pois o tráfego elevado poderia tornar o processo de quebra de grãos mais agressivo. Concluiu-se que o agregado reciclado de RCC tem uso promissor como insumo na construção de bases, sub-bases e reforços do subleito de vias de baixo volume de tráfego, em substituição aos materiais convencionais. (MOTTA, 2005).

### 2.5.5 Outras aplicações

Aragão et al. (2008) realizaram pesquisa sobre a produção de lajes pré-moldadas de concreto com 50% e 100% de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados. As lajes foram produzidas com dimensão de 3m x 1m x 12 cm e foram avaliadas por meio de ensaio de flexão em quatro pontos com controle de deslocamento.

Segundo os resultados obtidos neste estudo as lajes fabricadas com concreto utilizando agregado reciclado apresentaram resultado similar aos das lajes de referência, fabricadas com concreto natural, validando a utilização do concreto reciclado para este tipo de elemento pré-moldado (ARAGÃO et al., 2008).

Inforçato et al. (2008) desenvolveram trabalho que objetivou estudar a viabilidade técnica da utilização de RCC na fabricação de elementos de argamassa armada. Nesta pesquisa foram avaliadas as propriedades mecânicas das argamassas de traço 1:2 (cimento:areia) com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado nas proporções de 30%, 50% e 70%. Os autores estudaram a capacidade de absorção da água, além da resistência à compressão das argamassas produzidas, mantendo-se os fatores a/c. Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos na NBR 11.173/1990 para argamassas utilizadas na execução de elementos de argamassa armada e apresentaram resultados satisfatórios (INFORÇATO et. al., 2008).

Para Goonan (2000) o futuro dos agregados reciclados será impulsionado pela indisponibilidade de aterros, por uma maior aceitação produto, pelas políticas governamentais de incentivo ao uso dos agregados reciclados, bem como pelas exigências ambientais e de uma economia sã.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve o método utilizado, apresentando a estratégia de pesquisa por meio do detalhamento de cada uma das etapas componentes.

#### 3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Em função do objetivo deste trabalho, da escassez de experiências semelhantes e a existência de vários elementos de análise envolvidos no processo de reciclagem em canteiros de obras, optou-se pelo estudo de caso como estratégia de pesquisa.

Para Bressan (2000), este método é adequado para responder às questões "como" e "porque" que são questões explicativas e tratam de relações operacionais que ocorrem ao longo do tempo mais do que freqüências ou incidências.

Assim, para responder a questão central proposta nesta pesquisa, foram realizados estudos de caso de experiências de reciclagem em canteiros de obras da RMS, possibilitando o levantamento de dados, informações, observações e depoimentos. Todas as ações de campo realizadas subsidiaram respostas práticas e concretas, permitindo, a partir do processo experimental, a proposição de diretrizes para a reciclagem em canteiros.

Este método e outros métodos qualitativos são úteis quando é necessário pesquisar um fenômeno contemporâneo, amplo e complexo, em que o corpo de conhecimentos existente é insuficiente para permitir a proposição de questões causais e quando um fenômeno não pode ser estudado fora do contexto no qual ele naturalmente ocorre (BONOMA, 1985 *apud* BRESSAN, 2000).

#### 3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para atingir os objetivos propostos, esta pesquisa foi estruturada em etapas, abrangendo o processo de levantamento de dados e informações relevantes sobre o tema, a realização de estudos de caso de experiências de reciclagem em canteiros da RMS, a proposição de diretrizes que possam favorecer a prática da reciclagem dos resíduos classe A nos canteiros de obras e o desenvolvimento de fluxograma e

de procedimento operacional, que possam orientar as empresas interessadas em implantar o referido processo em seus canteiros.

A figura 15 representa de forma esquemática a estrutura e sequência das etapas e atividades desenvolvidas neste trabalho.

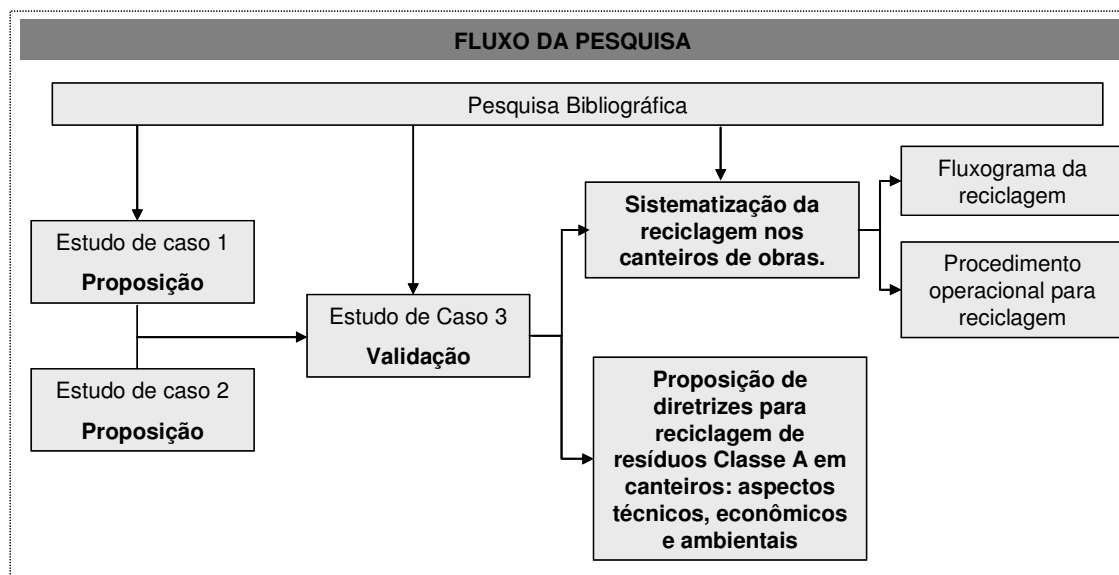


Figura 15 Fluxo de delineamento da pesquisa

### 3.3 ETAPAS DA PESQUISA

#### 3.3.1 Pesquisa bibliográfica

A primeira etapa da pesquisa contemplou um levantamento bibliográfico sobre temas relevantes relacionados aos RCC. Este levantamento foi realizado por meio da busca de dados, artigos, pesquisas anteriores, dissertações, teses, entrevistas com especialistas do setor, matérias em revistas e periódicos, leis e outros documentos que permitissem o levantamento de base conceitual relativa ao tema.

Foram coletadas informações sobre a definição, classificação, caracterização, geração e destinação dos RCC, legislação pertinente e as normas técnicas relacionadas. Foram abordados o gerenciamento dos RCC nos canteiros de obras, iniciativas públicas e privadas de reciclagem destes resíduos e descritos alguns estudos que tratam do uso do agregado reciclado em materiais de construção.

### 3.3.2 Estudos de caso

A segunda etapa do trabalho correspondeu à realização de três estudos de caso de experiências de reciclagem em canteiros de obras de empresas construtoras da RMS.

Os dois primeiros estudos visaram à identificação do melhor fluxo de atividades, a observação da interação deste processo com o andamento da obra, o levantamento de parâmetros para o dimensionamento da equipe, a identificação de possíveis aplicações para o agregado reciclado no canteiro e a análise de fatores intervenientes facilitadores ou dificultadores do processo.

O terceiro estudo de caso visou a validação da proposta de sistematização do processo de reciclagem no próprio canteiro.

Em todos os estudos de caso foi utilizado equipamento móvel de britagem (britador de mandíbulas - modelo URM 2015 do fabricante Fragmine) que, como dito anteriormente, foi adquirido pelo Departamento Nacional do SENAI para desenvolvimento de pesquisa no aproveitamento de agregados reciclados de RCC em canteiros de obras na cidade de Aracaju-SE.

Este equipamento é dotado de britador de mandíbulas e sistema de peneiramento com possibilidade do uso simultâneo de duas peneiras, além de dois vibradores elétricos para deslocar o agregado britado. Pela existência de duas peneiras é possível obter duas frações granulométricas, aproveitando inclusive para a re-britagem ou reuso a parcela do resíduo que não passa na peneira superior. O equipamento possui 5 peneiras (4,8 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm e 25 mm) que permitem a geração de agregados miúdos e graúdos em diversas granulometrias. O equipamento móvel tem peso total aproximado de 3 toneladas e capacidade produtiva máxima que varia entre 1,5 e 4 m<sup>3</sup> de resíduo britado por hora, em função da abertura do britador de mandíbulas. Quanto maior a abertura, maior a produtividade. Na produção de agregados para a construção civil a produtividade máxima deste equipamento é estimada em 2,5 m<sup>3</sup> por hora (Figuras 16 e 17).



Figura 16 Britador de mandíbulas e peneiras vibratórias



Figura 17 Equipamento móvel de britagem  
(LORDÉLO, EVANGELISTA e FERRAZ, 2007)

Os estudos de caso foram realizados conforme fluxo e atividades detalhados na figura 18:



Figura 18 Fluxo de atividades utilizado nos estudos de caso

a) Mobilização das empresas e obra

Para selecionar as empresas de construção que iriam compor o estudo foram utilizados os seguintes critérios: demonstrar interesse na prática da reciclagem, ter preferencialmente um PGR implantado ou em implantação em seus empreendimentos e ter obras em fase de estrutura ou vedação. Com o apoio do SENAI-BA e do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado da Bahia (SINDUSCON-BA) obteve-se uma lista de empresas que poderiam se enquadrar nestes critérios. Com essa informação foi feita a divulgação do projeto de pesquisa e dos seus objetivos.

A partir do interesse demonstrado, três empresas foram selecionadas para a realização do estudo de caso das experiências de reciclagem em canteiros. O quadro 8 apresenta o perfil destas empresas e de seus empreendimentos.

<b>PERFIL DAS EMPRESAS – ESTUDOS DE CASO</b>				
<b>Empresa</b>	<b>Porte</b>	<b>Tipo de obra</b>	<b>Área total Construída</b>	<b>Fase da obra</b>
A	Médio	Multipavimentos residencial	10.000 m <sup>2</sup>	Alvenaria e revestimento
B	Grande	Unidades habitacionais	43.359 m <sup>2</sup>	Estrutura e revestimento
C	Grande	Condomínio residencial vertical de alto padrão com 18 torres e área comum	320.000 m <sup>2</sup>	Estrutura e alvenaria

Quadro 8 Perfil das empresas dos estudos de caso

A empresa A estava implantando com sucesso o PGR em uma edificação vertical multipavimentos, em Salvador. A empresa B não implantava o PGR e realizava a construção de um condomínio com 800 unidades habitacionais na capital baiana. O terceiro estudo de caso foi realizado em parceria com um consórcio de empresas de grande porte em um dos maiores canteiros de obras do país. No início das atividades a empresa C não possuía PGR implantado.

As empresas selecionadas assinaram termo de cooperação técnica com o SENAI-BA, no qual foram estabelecidas as condições para instalação do



equipamento móvel de britagem, tempo máximo de permanência do equipamento, equipe técnica e operacional envolvida, etapas do processo de reciclagem, realização de ensaios, disponibilidade de informações e responsabilidades das partes.

b) Caracterização inicial das obras

Nos estudos de caso foi realizada análise preliminar das empresas e dos empreendimentos indicados para o desenvolvimento da pesquisa, conforme F01 – Diagnóstico Inicial (APÊNDICE A), registrando e avaliando os seguintes aspectos: identificação da empresa, objetivos da alta direção com o processo de reciclagem, caracterização da obra: descrição geral, área total construída, sistema construtivo utilizado, etapa atual e cronograma macro de execução, sistemas de transporte horizontal e vertical utilizados, sistemática de segregação de resíduos no canteiro, disponibilidade de equipe técnica e operacional para acompanhamento e execução da reciclagem, avaliação do espaço físico e da infra-estrutura disponível no canteiro de obras para abrigar o processo de reciclagem e levantamento de alternativas para aplicação do agregado reciclado.

c) Estruturação do processo de reciclagem

Após a seleção das empresas e das obras, passou-se para a estruturação do processo de reciclagem nos canteiros, conforme detalhado no fluxo anterior e o registro de todas as informações no F02 – Relatório de acompanhamento da reciclagem no canteiro (APÊNDICE B). Este formulário contempla as atividades de caracterização e planejamento, assim como um resumo dos resultados das avaliações técnicas dos agregados e dos materiais produzidos com o agregado reciclado, além das conclusões econômicas e ambientais.

No primeiro momento, por meio de entrevista com o responsável da obra, foi feita uma caracterização breve da empresa: endereço, responsáveis, ramo e tempo de atuação no mercado, práticas de gestão, certificações da qualidade e outras informações que foram consideradas importantes pelo entrevistado.

Em seguida, foram levantadas as práticas de gestão de resíduos da empresa, sistema de segregação e alternativas utilizadas para a destinação final dos RCC e se a empresa tinha alguma experiência anterior com reaproveitamento ou reciclagem em seus canteiros de obras.

Após a caracterização da empresa, foi realizado levantamento de informações específicas da obra: responsável técnico, descrição do empreendimento, equipe técnica e operacional envolvida, resumo do PGRCC, caso existisse, quanto aos aspectos relativos à geração, segregação e destinação final dos resíduos classe A.

Na sequência foi realizado um estudo do layout do canteiro como forma de encontrar a melhor alternativa para a instalação do britador, considerando a definição do local e a sistemática para segregação do resíduo classe A, além da definição dos locais e dispositivos de armazenamento para o agregado reciclado. Todos estes componentes formaram a central de reciclagem do canteiro.

Foram consideradas, neste momento, as soluções disponíveis no canteiro para transporte horizontal e vertical dos resíduos e materiais gerados, o fluxo da segregação e destinação intermediária dos resíduos no canteiro, o possível uso dos agregados reciclados e a proximidade com as centrais de concreto ou de fabricação de artefatos, conforme o caso.

#### d) Caracterização do resíduo classe A

Foi realizada a caracterização gravimétrica do resíduo classe A segregado, segundo a NBR 10.007 – Amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004). A amostra foi pesada e classificada visualmente, sendo separados os componentes pelo processo de catação e peneiramento. Em seguida foram determinados os pesos de cada componente e o valor percentual correspondente, determinando a participação de cada um de seus constituintes: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa, concreto, rocha, solo e areia.

#### e) Definição das aplicações e ajustes do britador

Com base na caracterização dos resíduos, foram definidas, em conjunto com os responsáveis pelas obras, as aplicações para os agregados reciclados e as respectivas granulometrias necessárias.

A definição da aplicação dos agregados reciclados foi estruturada em dois grupos, conforme a NBR 15.116 (ABNT, 2004):

1. Obras de pavimentação viária: em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas.

2. Preparo de concreto sem função estrutural: enchimentos, contrapiso, calçada e fabricação de artefatos não estruturais: blocos de vedação, meio-fio, sarjetas, canaletas, mourões e placas de muros.

Definida a aplicação, o britador e as peneiras foram ajustados em função do agregado definido.

f) Monitoramento do processo de reciclagem

Foi iniciado o processo de reciclagem piloto. Reforçou-se a importância da segregação prévia do resíduo classe A e que este não estivesse misturado a nenhum outro tipo de resíduo, principalmente o gesso, que poderia vir a contaminá-lo. Os operários foram orientados sobre o funcionamento do britador, sistema de alimentação e armazenamento do agregado reciclado por faixa granulométrica. Antes da partida foram verificadas as condições elétricas e de lubrificação da máquina.

Para a realização desta atividade foi separado inicialmente de 1 a 2 m<sup>3</sup>, conforme o caso, de resíduo classe A para uma reciclagem piloto. Esta partida piloto teve como objetivo a verificação do domínio do processo pelos operários, medição da produtividade (volume de resíduos britado/hora), agilidade na alimentação do britador, volume de agregado gerado por granulometria e volume de agregado destinado a rebitagem, além da geração de amostra de agregado reciclado para caracterização.

Após a caracterização do agregado reciclado, etapa descrita a seguir, e realizados os ajustes necessários, foi dada a continuidade do processo de reciclagem no canteiro e seu monitoramento que, assim como a reciclagem piloto, tiveram seus dados registrados no F03 – Controle do processo de reciclagem (APÊNDICE C). Estes dados referem-se à data de britagem, volume de resíduo classe A britado, tempo de britagem para cálculo da produtividade, volume gerado total e por tipo de agregado reciclado e ocorrências/observações. Este registro foi diário ou quando da realização de cada britagem e foi acompanhado pelo responsável da obra durante todo o processo de reciclagem.

g) Caracterização do agregado reciclado

Feita a britagem piloto, foram realizadas as coletas de amostras para análise dos agregados reciclados em laboratório, em função das aplicações definidas pelas

construtoras. Para a realização desta análise foram considerados os ensaios fornecidos pelas empresas construtoras, as pesquisas existentes e os parâmetros normativos para concluir a devida caracterização do agregado reciclado. Foram utilizados como referência principal os parâmetros definidos na NBR 15.116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos (ABNT, 2004). Os dados obtidos das análises dos agregados foram consolidados no F04 – Avaliação técnica dos agregados reciclados (APÊNDICE D).

#### h) Produção piloto do produto com agregado reciclado

A partir da análise dos agregados reciclados e em função dos resultados apresentados, foi dada seqüência às atividades de reciclagem e produção piloto dos materiais selecionados por cada obra, gerando o material de referência com agregado natural e os materiais experimentais com substituição parcial e/ou total do agregado natural pelo reciclado. Estes percentuais de substituição foram realizados tendo como base o traço dos materiais estabelecidos pelas próprias empresas e referenciais de pesquisas existentes.

Nos estudos de caso, a produção dos materiais de construção selecionados foi realizada nas mesmas condições de produção destes materiais com o agregado natural.

#### i) Avaliação de desempenho do produto com agregado reciclado

Os produtos de referência e experimentais, nos seus percentuais de substituição foram analisados tendo como base os ensaios fornecidos pelas construtoras ou estudos existentes em condições similares. Estes dados e informações foram consolidados no F05 – Avaliação técnica do material com agregado reciclado (APÊNDICE E).

Após esta avaliação foi definido o percentual de substituição que representou o maior aproveitamento do agregado reciclado e a garantia das características e padrões de desempenho normativos requeridos para os materiais em estudo.

#### j) Aplicação do produto e rastreabilidade

Na seqüência, foi dada continuidade a britagem dos resíduos classe A para fabricação dos materiais na proporção de substituição definida com base no item

anterior. A fabricação e aplicação dos materiais produzidos com agregado reciclado foram acompanhadas e suas informações registradas no F06 – Controle da produção e aplicação do material com agregado reciclado (APÊNDICE F).

Além da produção, foram registradas no referido formulário as informações da aplicação destes materiais de modo a garantir a rastreabilidade dos mesmos.

### **3.3.3 Análise dos dados**

Ao longo de todo o processo de reciclagem nos canteiros foram levantados dados, feitas observações, realizadas entrevistas e coleta de depoimentos que puderam subsidiar a avaliação final do processo, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Na análise técnica da aplicação dos agregados reciclados foram comparados os aspectos de desempenho dos produtos fabricados com agregado natural e os fabricados com a substituição total ou parcial de agregados reciclados, tomando-se como referência os padrões e as pesquisas existentes para cada tipo de produto selecionado. O produto considerado mais adequado foi aquele que utilizou o maior percentual de agregado reciclado, mantidos os padrões de desempenho requeridos. Cabe comentar, que por existirem pesquisas e normas técnicas que validam o uso dos agregados reciclados na produção de materiais de construção, este não foi o foco do trabalho.

Quanto à avaliação econômica foi realizado levantamento dos custos do agregado natural, do bota fora de entulho e, no estudo de caso 3, dos custos associados à produção do agregado reciclado. Neste último, foram levantados os custos da reciclagem para compor o custo do agregado, considerando mão-de-obra direta, equipamentos, manutenção e energia. Com estes dados, foi possível calcular o ganho econômico do processo por m<sup>3</sup>, resultante do somatório dos custos do agregado natural e do bota fora, subtraindo-se o custo para produção do agregado reciclado. Para complementar a análise, o investimento realizado para estruturar o processo de reciclagem no canteiro foi levantado, assim como o tempo de retorno para recuperação do referido investimento e o ganho econômico a partir deste momento.

Na avaliação ambiental foram considerados os aspectos qualitativos relacionados, que contemplam desde a preservação dos recursos naturais não renováveis até a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado dos RCC. Esta análise foi feita, tendo como referência a quantidade total de resíduos processados e o volume de agregados reciclados utilizado.

As informações resultantes das avaliações econômicas e ambientais foram registradas no F07 – Avaliação econômica e ambiental do processo de reciclagem no canteiro (APÊNDICE G).

A avaliação dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais e de todo o processo vivenciado nos estudos de caso serviram de referência para a proposição de diretrizes para reciclagem em canteiros de obras. Estas diretrizes correlacionam parâmetros e critérios que devem ser observados quando da opção da reciclagem de resíduos classe A nos canteiros e da utilização de seus agregados na produção de materiais de construção.

Para facilitar o entendimento de todo o processo e estimular esta prática nos canteiros de obras de empresas construtoras foram propostos um fluxograma de reciclagem e um procedimento operacional que descreve as etapas críticas e os cuidados a serem tomados para o sucesso desta prática.

## **4. RESULTADOS**

Neste item são apresentados os resultados observados nos três estudos de caso de reciclagem em canteiros de obra realizados neste trabalho.

### **4.1 EXPERIÊNCIAS DE RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS**

#### **4.1.1 Estudo de Caso 1**

O Estudo de Caso 1 foi realizado em canteiro de obra de edificação vertical multipavimentos na cidade de Salvador-Ba, com cerca de 10.000 m<sup>2</sup> de área total construída. Trata-se de empresa construtora que atua a mais de dez anos no mercado baiano, notadamente executando empreendimentos de edificações residenciais e comerciais e possui sistema de gestão da qualidade implantado com base na NBR ISO 9001/2001. Essa empresa demonstrou por meio de entrevista com seu diretor e técnicos que está sensível às questões ligadas a responsabilidade social e ambiental. O estudo foi realizado no período entre agosto e novembro de 2007.

No diagnóstico inicial foi confirmado o interesse da alta direção em implantar um programa de aproveitamento dos resíduos classe A pela reciclagem destes resíduos no próprio canteiro. Na oportunidade, foi avaliado o cronograma macro da obra que se encontrava na fase de estrutura e vedação, na qual foi utilizado sistema convencional com utilização de blocos cerâmicos para vedação. Por fim, foram verificados os sistemas de transporte vertical e horizontal e o lay-out do canteiro, assim como levantadas as possíveis alternativas para utilização dos agregados reciclados.

Um dos fatores que contribuiu para a aplicação deste estudo de caso foi o fato da empresa estar implantando com sucesso neste canteiro um Programa de Gestão de Resíduos. Neste programa, foram realizadas atividades de: treinamento dos operários quanto à correta segregação dos resíduos, implantação dos dispositivos de segregação nos pavimentos e nos locais de coleta centrais, definição da estratégia de destinação final em parceria com cooperativas e outras empresas interessadas e promoção do correto monitoramento de todo o programa. O

monitoramento era realizado por meio da aplicação de check list que contemplava requisitos de limpeza e organização.



Figura 19 Resíduo Classe A segregado -  
Estudo de Caso 1



Figura 20 Dispositivos para segregação de  
RCC – Estudo de Caso 1

Após a breve caracterização da empresa e levantamento das práticas de gestão e gerenciamento de resíduos, foi definida a equipe técnica responsável pela reciclagem no canteiro: uma arquiteta, uma estagiária de engenharia civil e três operários (serventes). Na seqüência, foi realizada a sensibilização do engenheiro responsável pela obra da importância desta prática e de sua colaboração para o sucesso do trabalho.

Após estudo do lay-out do canteiro, foi instalada a recicladora móvel na garagem G1, próxima a central de concreto e ao local onde foram construídas as baias para armazenamento dos agregados reciclados, conforme registrado nas figuras 21 e 22. A máquina foi posicionada no local definitivo, em base regularizada e com o caixão alimentador bem abaixo da abertura feita na laje superior, onde estava segregado o resíduo classe A que seria britado. Esta foi a forma encontrada para agilizar o processo de alimentação do equipamento em função da altura do caixão alimentador. Foi feita também a instalação elétrica e verificada as condições de lubrificação do equipamento.





Figura 21 Instalação da recicladora móvel –  
Estudo de Caso 1



Figura 22 Baías para segregação dos  
agregados - Estudo de Caso 1

Após a instalação da máquina, foi realizada a coleta de amostra do resíduo classe A, já segregado, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004), e o seu encaminhamento para o laboratório de materiais do SENAI-BA para caracterização gravimétrica. Na ocasião, não estava sendo utilizado gesso na obra, nem estavam sendo realizados serviços de movimentação de terra. Assim, foi descartada a possibilidade de contaminação do resíduo coletado por gesso ou solo.



Figura 23 Coleta de amostra para análise  
gravimétrica – Estudo de Caso 1



Figura 24 Pesagem de amostra de resíduo  
classe A - Estudo de Caso 1

A amostra foi pesada e classificada visualmente, os componentes foram separados pelo processo de catação e o peneiramento foi realizado para separação dos finos que não foram descartados em função da condição controlada de coleta da amostra. Foram determinados os pesos dos componentes e o percentual correspondente para determinar a participação destes na constituição do resíduo.



Figura 25 Análise gravimétrica do resíduo classe A - Estudo de Caso 1

Os dados coletados foram consolidados e o resultado gráfico da análise gravimétrica é apresentado na figura 26.

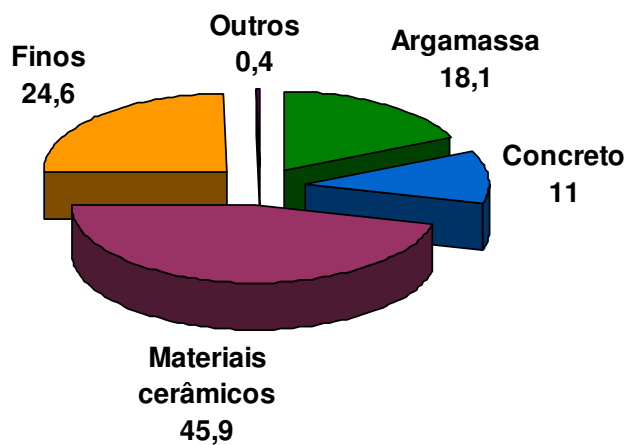


Figura 26 Resultado da análise gravimétrica (%) – Estudo de Caso 1

O próximo passo do estudo foi a definição das aplicações do agregado reciclado. A empresa optou pela utilização destes agregados na fabricação de argamassa para contrapiso e concreto de enchimento para contenção. As aplicações definidas foram enquadradas, segundo a NBR 15.116 (ABNT, 2004) na utilização de agregados reciclados em preparo de concreto sem função estrutural.

Em função da necessidade identificada pela empresa de agregados reciclados equivalentes a areia (agregado miúdo) e brita 1 (agregado graúdo) foi realizado o ajuste do britador e das peneiras, tendo sido instaladas as peneiras de 4,8 mm e 19 mm.

Na sequência foi realizado o processo de reciclagem piloto. A primeira britagem foi realizada no dia 06 de agosto de 2007, após orientação dos operários envolvidos e em caráter piloto, com a cubagem de 1 m<sup>3</sup> de resíduo, conforme figura 27. Na oportunidade, foi monitorado todo o processo quanto ao tempo de britagem, pessoal envolvido, volume e avaliação visual de agregado reciclado, produtividade e levantamento de aspectos de melhoria no processo, como pode ser visto na figura 28, onde foi feita adaptação no processo de alimentação para redução das perdas do resíduo classe A.



Figura 27 Cubagem para britagem piloto –  
Estudo de Caso 1



Figura 28 Adaptação para melhoria na  
alimentação - Estudo de Caso 1

Após este estudo piloto, foi dada sequência ao processo de britagem e monitoramento, enquanto eram realizados os ensaios de caracterização nos agregados reciclados. Para este controle foi utilizado o formulário “Controle do Processo de Reciclagem” no qual eram coletados os dados relativos ao volume de resíduo britado e de agregado reciclado gerado, por granulometria, assim como o tempo gasto em todo o processo. Ao longo de cada ciclo de britagem foram disponibilizados três serventes, sendo dois na alimentação e um na coleta e armazenamento do agregado reciclado.



Figura 29 Britador com adaptação do caixão alimentador – Estudo de Caso 1



Figura 30 Agregado miúdo reciclado – Estudo de Caso 1



Figura 31 Agregado graúdo reciclado – Estudo de Caso 1

Considerando a composição da fração graúda do agregado reciclado gerado nesta obra, este foi classificado como Agregado de Resíduo Misto (ARM), segundo a NBR 15.116 (ABNT, 2004), Anexo A, por obter fração inferior a 90% de componentes a base de cimento Portland e rocha.

A atividade seguinte do estudo foi a caracterização dos agregados reciclados, miúdo e graúdo, conforme resultados apresentados na tabela 5.

Tabela 5 Caracterização dos agregados reciclados – Estudo de Caso 1

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS – ESTUDO DE CASO 1				
ENSAIOS	Referencial normativo	AM 1 <sup>1</sup>	Referencial normativo	AM 2 <sup>2</sup>
<b>Classificação da Amostra</b>	Agregado reciclado miúdo		Agregado reciclado graúdo	
<b>Módulo de finura (NBR NM 248)</b>	2,2 a 2,90	2,54	-	6,53
<b>Dimensão máxima característica (mm) (NBR NM 248)</b>	-	4,8	-	19
<b>Material pulverulento (%) (NBR NM 46)</b>	≤ 20	4,16	≤ 10	1,26
<b>Absorção (%) (NBR NM 30)</b>	≤ 17	3,07	-	-
<b>Absorção (%) (NBR NM 53)</b>	-	-	≤ 12	13,12
<b>Umidade Crítica (%) (NBR 6467)</b>	-	5,4	-	-
<b>Coefficiente de Inchamento médio (%) (NBR 6467)</b>	-	1,224	-	-
<b>Cloreto solúveis em água (% Cl) (NBR 9917)</b>	≤ 1	< 0,004	≤ 1	< 0,004
<b>Sulfatos solúveis em água (% SO<sub>4</sub>) (NBR 9917)</b>	≤ 1	0,130	≤ 1	0,065

<sup>1</sup> agregado miúdo de resíduo classe A (areia)

<sup>2</sup> agregado graúdo de resíduo classe A (brita 1)

Vale ressaltar que os valores de absorção e coeficiente de inchamento para o agregado miúdo foram considerados baixos, porém foram confirmados pelo laboratório, conforme laudos dos ensaios fornecidos pela empresa.

A partir dos resultados de caracterização dos agregados reciclados e em função dos bons resultados apresentados pelo agregado miúdo, assim como do estágio da obra com a necessidade de utilização imediata dos referidos agregados, a empresa contratou laboratório especializado para determinar a dosagem da argamassa de contrapiso utilizando cimento, areia e agregado miúdo reciclado.

Na oportunidade foram repetidos alguns ensaios e realizados outros para o agregado miúdo reciclado, conforme tabela 6, e recomendado pelo laboratório contratado a substituição de 50% da areia natural pelo agregado miúdo reciclado na dosagem para produção de argamassa para contrapiso das garagens G1 e G2.

Conforme informações do laboratório contratado, o percentual de substituição sugerido foi baseado em estudos realizados anteriormente e que apresenta histórico de utilização com resultados favoráveis.

Tabela 6 Caracterização do agregado miúdo reciclado – Estudo de Caso 1

<b>CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO RECICLADO – ESTUDO DE CASO 1</b>		
<b>ENSAIOS</b>	<b>Referencial</b>	<b>AM 3<sup>3</sup></b>
<b>Classificação da Amostra</b>	Areia Natural	Agregado reciclado miúdo
<b>Módulo de finura (NBR NM 248)</b>	1,70	2,18
<b>Dimensão máxima característica (mm) (NBR NM 248)</b>	1,18	4,75
<b>Material pulverulento (%) (NBR NM 46)</b>	1,3	5,3
<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>) (NBR 9776)</b>	2,63	2,59
<b>Massa unitária (Kg/dm<sup>3</sup>) (NBR 7251)</b>	1,57	1,38
<b>Massa unitária úmida (Kg/dm<sup>3</sup>) (NBR 7251)</b>	-	1,33
<b>Impurezas Orgânicas (NBR NM 49)</b>	Mais clara que a solução padrão	-
<b>Coeficiente de Inchamento (NBR 6467)</b>	1,31	-
<b>Umidade de campo (%)</b>	-	1,9

<sup>3</sup>agregado miúdo de resíduo classe A (areia) re-ensaiado quando da elaboração do traço do contrapiso.

A tabela 7 apresenta a dosagem da argamassa de contrapiso, cujo traço foi de 1:5 (cimento e areia), fornecida pela empresa construtora e com a qual foi produzida a mistura com agregado reciclado nas mesmas condições de produção que seria produzido o material com agregado natural.

Tabela 7 Traço do contrapiso com agregado reciclado – Estudo de Caso 1

TRAÇO DO CONTRAPISO – ESTUDO DE CASO 1					
Materiais	Traço (em massa unitária)	Consumo kg/m <sup>3</sup>	Volume Corrigido P/ 1 Saco de Cimento	Nº de Padiolas	Volume da Padiola* (L)
Cimento CII – Z32	1,00	335	50 Kg	-	-
Areia	2,50	838	106 litros	02	53
Agregado miúdo reciclado	2,50	838	95 litros	02	47,5
Água	0,75	251	38	-	-

\* foram definidas pelo laboratório as dimensões exatas para a confecção das padiolas de cada material.

Na proposta de dosagem da argamassa, o volume do agregado miúdo (areia) foi corrigido em função do inchamento médio e o volume do agregado reciclado foi corrigido em função da massa unitária úmida e do coeficiente de umidade. Recomendou-se ainda descontar a água contida na areia natural e reciclada em função da umidade.

O agregado graúdo reciclado foi utilizado na fabricação de concreto de enchimento para contenção nas garagens. Para esta aplicação não foram realizados ensaios nem estudos mais aprofundados.

Em função do ritmo da obra e dos processos internos da empresa não foi viabilizada a realização dos ensaios de avaliação de desempenho do material fabricado com os agregados reciclados, nem o controle da fabricação e aplicação do mesmo.

Turmina e Barros (2002) realizaram pesquisa acerca do comportamento de argamassa para contrapiso produzida com agregado reciclado de RCC e a sua comparação com os resultados obtidos na fabricação de argamassa para contrapiso convencional utilizando cimento e areia natural. Na ocasião do estudo dos autores ainda não havia sido publicada a NBR 15.116 (ABNT, 2004), determinando os requisitos dos agregados reciclados para utilização em concretos sem função estrutural, por este motivo alguns parâmetros exigidos atualmente não foram avaliados. No entanto, é possível observar grande similaridade dos resultados apresentados no estudo de Turmina e Barros (2002) em relação à massa unitária e a absorção de água obtida no estudo de caso 1.

Na pesquisa realizada pelos referidos autores, as argamassas produzidas com agregado reciclado apresentaram resistências à tração e compressão superiores às argamassas produzidas com agregado natural, além de uma melhor compactidade e resistência mecânica (TURMINA e BARROS, 2002).

A tabela 8 apresenta dados globais da experiência de reciclagem realizada no canteiro de obras do estudo de caso 1. No total foram britados 62 m<sup>3</sup> de resíduo classe A ao longo de 24 dias, com a produtividade média de britagem de 0,80m<sup>3</sup>/hora. A maior proporção de agregado reciclado foi para o agregado miúdo reciclado, com 55% do total de agregados produzidos.

Tabela 8 Dados gerais da reciclagem no canteiro - Estudo de Caso 1

DADOS GERAIS – ESTUDO DE CASO 1							
Dias de britagem do estudo de caso	Produtividade média (m <sup>3</sup> /hora)	Volume total de resíduo classe A (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Volume total de agregado reciclado (m <sup>3</sup> )	Relação entre volume de agregado reciclado e volume de resíduo classe A	Volume de areia (m <sup>3</sup> )	Volume de brita 1 (m <sup>3</sup> )	Perda (m <sup>3</sup> )
24 dias	0,80	62	47	0,76	25,8	19,7	1,5

<sup>1</sup> O volume de resíduo classe A foi calculado em função das dimensões da caixa do britador.

Por meio de entrevistas realizadas com o diretor da empresa e com a responsável pelo processo de reciclagem no canteiro foi possível constatar os benefícios gerados pela experiência de reciclagem, caracterizados pelo envolvimento da equipe de operários com o processo e pela economia com a destinação dos resíduos classe A. Neste estudo de caso todo o resíduo classe A segregado foi aproveitado durante o período de realização da pesquisa, assim como foi percebido impacto positivo na imagem da empresa quanto às questões ambientais junto a seus clientes e parceiros.

Não foi possível neste primeiro estudo de caso uma análise mais criteriosa quanto aos aspectos técnicos do produto final com agregados reciclados e dos ganhos econômicos em função da indisponibilidade de informações pela empresa na qual o estudo de caso estava sendo realizado.

#### 4.1.2 Estudo de Caso 2

O Estudo de Caso 2 foi realizado em obra de construção de condomínio com 800 unidades habitacionais autônomas, distribuídas em 40 prédios de vinte unidades e quatro pavimentos cada, na cidade de Salvador-Ba, com área total construída de 43.359 m<sup>2</sup>. Esta obra foi realizada por empresa de grande porte da capital baiana que possui sistema de gestão da qualidade implantado e certificação segundo a NBR ISO 9001/2000. O estudo foi realizado no período de junho a novembro de 2008.

Quando da realização do diagnóstico inicial, foi reforçado o interesse pela experiência de reciclagem no canteiro pelo engenheiro responsável pela obra que promoveu os alinhamentos necessários com a direção da empresa. Neste empreendimento estava sendo utilizado o sistema construtivo de alvenaria estrutural de bloco de concreto, sendo esse material fabricado no próprio canteiro de obra. Na oportunidade foi avaliado o cronograma macro do empreendimento que se encontrava na etapa de estrutura e vedação.

Ainda na etapa de caracterização inicial, foram verificados os sistemas de transporte vertical e horizontal e o lay-out do canteiro para definição do local de instalação da central de reciclagem que privilegiasse o melhor fluxo de segregação do resíduo classe A, alimentação do equipamento de britagem e armazenamento do agregado reciclado.

Concluídos os trabalhos iniciais, foi definido pela equipe técnica da obra que os agregados reciclados produzidos seriam utilizados na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural, que seriam utilizados na construção de muros nos limites do condomínio e na fabricação de concreto magro para calçadas (passeios concretados in loco).

Pelo fato da obra não possuir, quando da realização da pesquisa de campo, programa de gestão de resíduos implantado, foi definida sistemática específica para segregação dos resíduos classe A no canteiro. Foi realizada também a orientação dos responsáveis técnicos para que disseminassem a conceituação deste tipo de resíduo e a forma correta de segregação junto às equipes das frentes de serviço e aos responsáveis pela segregação final. Esta orientação acerca da correta



segregação é fundamental, visto que os resíduos para o processo de reciclagem deveriam estar isentos de quaisquer contaminantes.

Após a realização do diagnóstico preliminar, foi iniciada a estruturação do processo de reciclagem. Foram preparadas as áreas para instalação do equipamento de britagem móvel, segregação dos resíduos classe A e armazenamento do agregado reciclado, conforme mostram as figuras 32 e 33. Todos estes componentes formaram a central de reciclagem do canteiro.



Figura 32 Baías para armazenamento dos agregados – Estudo de Caso 2



Figura 33 Área para reciclagem de resíduos classe A – Estudo de Caso 2

A máquina foi posicionada em base regularizada em nível abaixo do local de segregação do resíduo classe A e com proteções laterais de madeira para evitar perdas no momento da alimentação do equipamento como pode ser observado na figura 34. Esta foi a forma encontrada para agilizar o processo de alimentação do equipamento em função da altura do caixão alimentador. Foi viabilizada a instalação elétrica e verificadas as condições de lubrificação do equipamento.



Figura 34 Instalação do britador móvel – Estudo de Caso 2

A atividade seguinte foi a caracterização gravimétrica do resíduo classe A. Em função da uniformidade do resíduo segregado na obra durante a realização da pesquisa de campo, esta determinação foi realizada de forma visual, pois observou-se que o resíduo tinha predominância, em mais de 95%, de restos de concreto, proveniente, principalmente, da alvenaria estrutural de blocos de concreto, concretos e argamassas conforme pode ser observado na figura 35.



Figura 35 Resíduo classe A segregado - Estudo de Caso 2

Em função da caracterização do resíduo classe A desta obra, a empresa optou pela produção de agregados reciclados miúdos e graúdos com a seguinte utilização: uso do agregado miúdo para a fabricação de blocos de concreto sem função estrutural, para vedação de muros, e uso dos agregados miúdo e graúdo para a fabricação de concreto magro, para uso em passeio. Estas utilizações são enquadradas, segundo a NBR 15.116 (ABNT, 2004), como utilização de agregados reciclados em preparo de concreto sem função estrutural.

Pela necessidade de agregado reciclado equivalente ao pó de pedra (agregado miúdo) usado na fabricação dos blocos de concreto sem função estrutural e de brita (agregado graúdo) para o concreto magro, o britador de mandíbula foi então ajustado com as peneiras de 4,8 mm e 12,5 mm. Foi também previsto pela empresa a utilização do resíduo não passante na peneira superior, ou seja, resíduo com granulometria superior a 12,5 mm, compondo um agregado graúdo misto, evitando assim a rebitagem desta fração e seu aproveitamento no próprio canteiro.

Após a instalação do britador e análise da composição do resíduo, foi realizada a britagem piloto, no dia 16 de junho de 2008. Esta atividade só foi iniciada após o treinamento dos operários na operação do equipamento de britagem móvel, no fluxo

de alimentação do britador, no armazenamento de agregado reciclado e na forma correta de coletar as informações referentes a este processo. Foi britado 1 m<sup>3</sup> de resíduo classe A e identificadas possíveis melhorias no processo de alimentação do equipamento e recolhimento dos agregados gerados.

Após este estudo piloto, foi dada continuidade ao processo de britagem e seu monitoramento, enquanto eram encaminhadas para laboratório contratado pela empresa as amostras dos agregados reciclados nas 3 granulometrias estabelecidas e amostra do pó de pedra que estava sendo utilizado na fabricação dos blocos de concreto no canteiro.

No controle do processo de britagem foi utilizado o formulário “Controle do Processo de Reciclagem”, no qual eram registrados os dados relativos ao volume de resíduo britado e de agregado reciclado por granulometria e o tempo despendido por britagem. Para estas atividades foram disponibilizados três serventes, da mesma forma que no primeiro estudo de caso, com dois deles trabalhando na alimentação e um na coleta e armazenamento do agregado reciclado.

Considerando a composição da fração graúda dos agregados reciclados gerados nesta obra, foi realizada a determinação da composição dos agregados reciclados seguindo o Anexo A da NBR 15.116 (ABNT, 2004) e o resultado da avaliação mostrou que o agregado em estudo pode ser classificado como agregado de resíduo de concreto (ARC), pois mais de 90% da sua fração graúda era formada por fragmentos à base de cimento Portland e rochas.



Figura 36 Agregado reciclado – Estudo de Caso 2

Os agregados reciclados foram caracterizados segundo os mesmos parâmetros que a obra já utilizava para a caracterização dos agregados naturais e este foi o referencial de comparação utilizado neste estudo de caso. Os resultados obtidos e os parâmetros utilizados estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9 Caracterização dos agregados reciclados – Estudo de caso 2

<b>CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS – ESTUDO DE CASO 2</b>				
<b>ENSAIOS</b>	<b>AM 1<sup>1</sup></b>	<b>AM 2<sup>2</sup></b>	<b>AM 3<sup>3</sup></b>	<b>AM4<sup>4</sup></b>
Identificação da Amostra	Agregado miúdo reciclado	Agregado graúdo reciclado	Agregado graúdo misto reciclado	Pó de pedra natural
Módulo de finura (NBR 7211)	3,58	6,04	6,94	4,93
Dimensão máxima característica (mm) (NBR 7211)	-	12,5	25,0	9,5
Massa Específica Real (KN/m <sup>2</sup> ) (NBR 9937)	27,5	27,5	27,6	27,4

<sup>1</sup> agregado miúdo reciclado (Pó de pedra reciclado)

<sup>2</sup> agregado graúdo reciclado (brita reciclada)

<sup>3</sup> agregado graúdo misto reciclado (brita reciclada)

<sup>4</sup> pó de pedra utilizado pela fábrica de blocos no canteiro.

A partir dos resultados da caracterização dos agregados produzidos, foi constatado que o agregado miúdo reciclado (AM1) e o pó de pedra (AM4) utilizado pela empresa para a fabricação dos blocos tinham características semelhantes. Desta forma, tomou-se a decisão da substituição do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado no traço para fabricação de bloco de concreto vazado sem função estrutural.

Tendo como base o traço já utilizado pela empresa (traço de referência), foram realizadas cinco misturas experimentais com dosagens de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de substituição do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado, conforme mostra a tabela 10.

Tabela 10 Misturas experimentais na fabricação de bloco – Estudo de Caso 2

<b>MISTURAS EXPERIMENTAIS PARA FABRICAÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL (EM VOLUME)</b>						
<b> Materiais</b>	<b>Traço de Referência<sup>1</sup></b>	<b>T1 20%</b>	<b>T2 40%</b>	<b>T3 60%</b>	<b>T 4 80%</b>	<b>T5 100%</b>
Agregado reciclado	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Pó de pedra	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0
Pedrisco	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Areia	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cimento	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg

<sup>1</sup> Traço padrão utilizado pela fábrica de blocos da obra.

Os traços experimentais foram realizados na fábrica de blocos instalada no próprio canteiro da obra, tendo sido produzidos 42 blocos para cada um dos cinco traços experimentais, conforme figura 37. O procedimento de fabricação dos blocos de concreto com substituição de agregado reciclado foi o mesmo utilizado para a fabricação dos blocos convencionais.



Figura 37 Blocos de concreto reciclado – Estudo de Caso 2

A atividade seguinte consistiu na avaliação do desempenho dos blocos com agregado reciclado nos seus diversos percentuais de substituição em comparação com o desempenho do bloco de referência, conforme figuras 38 e 39. Para esta avaliação foi utilizada, como referencial normativo, a NBR 6.136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos (ABNT, 2007), cujos limites são:

1. Resistência a compressão para classe D (bloco sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo) maior ou igual a 2,0 MPa.
2. Absorção média em % menor que 10%.



Figura 38 Ensaio de absorção de água –  
Estudo de Caso 2



Figura 39 Ensaio de resistência à  
compressão – Estudo de Caso 2

Analisando os resultados dos ensaios apresentados na tabela 11, optou-se pelo traço com substituição de 100% do pó de pedra pelo agregado miúdo reciclado (T5) que apresentou o maior aproveitamento do agregado reciclado, garantindo as características e padrões de desempenho normativo.

É importante ressaltar que todos os traços experimentais apresentaram resultados satisfatórios quanto às questões dimensionais, de absorção e resistência média à compressão, tendo o T5 apresentado resultados de resistência ainda melhores que os dos blocos de referência.

Tabela 11 Resultados de ensaios em blocos – Estudo de Caso 2

RESULTADOS DOS ENSAIOS EM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADO RECICLADO									
Traço	Dimensões Médias dos blocos (mm)			Dimensões Médias das Paredes Externas (mm)		Dimensões Médias dos Furos (mm)		Absorção de Água Média (%)	Resistência à Compressão (Mpa)
	Larg	Alt	Compr	Longit	Transv	Longit	Transv		
TR	90,8	191,9	389,8	23,1	23,4	160,0	40,8	7,4	5,0 ± 0,4
T1 20%	90,7	192,0	390,8	21,8	22,4	159,4	43,9	7,4	4,9 ± 0,4
T2 40%	90,4	191,2	390,3	22,7	22,5	161,1	41,6	7,9	4,0 ± 0,5
T3 60%	90,6	191,2	391,4	22,9	22,5	160,4	41,7	8,0	4,7 ± 0,2
T4 80%	90,2	192,0	389,9	22,5	21,6	160,0	42,0	8,5	4,7 ± 0,3
T5 100%	90,4	189,6	390,8	22,7	23,8	159,2	42,4	8,2	5,4 ± 0,4

Obs: Ensaios realizados no Laboratório de Materiais do SENAI-BA

Os agregados miúdos e graúdos reciclados também foram utilizados na confecção de concreto magro para execução de passeio. Foi substituído 100% da areia pelo agregado reciclado miúdo no concreto magro e 100% da brita pelo agregado graúdo reciclado, no traço 1:4:5 (cimento; areia e brita), com a mesma aparência e acabamento do concreto convencional, conforme figura 40.



Figura 40 Concreto magro com agregados reciclados – Estudo de Caso 2

Neste estudo de caso não foi possível a coleta de dados referente à rastreabilidade da aplicação dos produtos com agregado reciclado em virtude da dinâmica da obra e da indisponibilidade de informações por parte da empresa.

A tabela 12 apresenta dados globais da experiência de reciclagem realizada no estudo de caso 2. No total foram britados 100 m<sup>3</sup> de resíduo classe A ao longo de 36 dias, com a produtividade média de britagem de 0,60m<sup>3</sup>/hora. Uma das justificativas desta baixa produtividade em relação ao estudo de caso 1 foi devido à dificuldade de alimentação da caixa do britador e a descontinuidade do processo de reciclagem com a necessidade de movimentação da central de reciclagem.

Tabela 12 Dados gerais da reciclagem no canteiro - Estudo de caso 2

DADOS GERAIS – ESTUDO DE CASO 2							
Dias de britagem do estudo de caso	Produtividade média (m <sup>3</sup> /hora)	Volume Total de Resíduo de concreto (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Volume total de agregado reciclado (m <sup>3</sup> )	Relação entre volume de agregado reciclado e volume de resíduo de concreto	Volume de agregado miúdo reciclado (m <sup>3</sup> )	Volume de agregado graúdo reciclado (m <sup>3</sup> )	Volume de agregado graúdo misto reciclado (m <sup>3</sup> )
36 dias	0,60	100	85	0,85	42,5	25,5	17,0

<sup>1</sup> O volume de resíduo de concreto foi calculado em função das dimensões da caixa do britador.

Outro dado a ser registrado deste estudo de caso é a relação entre o volume de agregado reciclado e o volume de resíduo classe A britado que foi da ordem de 0,85, maior que o primeiro estudo de caso que foi de 0,76.

Neste estudo de caso, conforme dados da tabela 13, já foi possível coletar alguns dados da economia direta que a obra obteve com a reciclagem no canteiro. Foi considerada a economia com a não aquisição de agregados naturais, substituídos pelos agregados reciclados, e com o transporte que seria necessário para descartar o resíduo classe A que foi britado.

Tabela 13 Economia com a reciclagem no canteiro - Estudo de caso 2

<b>AVALIAÇÃO ECONÔMICA – ESTUDO DE CASO 2</b>			
<b>Itens</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo equivalente do agregado natural (R\$ / m<sup>3</sup>)</b>	<b>Economia no custo da obra (R\$)</b>
<b>Agregado Reciclado</b>			
Agregado miúdo (m <sup>3</sup> )	42,5	34,00	1.445,00
Agregado graúdo (m <sup>3</sup> )	25,5	41,00	1.045,50
Agregado graúdo misto (m <sup>3</sup> )	17	41,00	697,00
<b>Transporte do Resíduo</b>			
Transporte do resíduo para o local de disposição	100	20,00 <sup>1</sup>	2.000,00

<sup>1</sup> Valor de bota fora R\$ 200,00 por caçamba. Cada caçamba tem cerca de 10m<sup>3</sup>.

Considerando uma economia de R\$ 5.187,50 para 100 m<sup>3</sup> de resíduo britado, em escala de estudo piloto, a empresa poderia ter um resultado muito mais expressivo, caso todo o resíduo classe A gerado pela obra fosse reciclado.

Além dos aspectos técnicos e econômicos não se pode esquecer dos aspectos ambientais relacionados a esta prática e, neste caso específico, que 85 m<sup>3</sup> de agregado natural deixaram de ser consumidos e 100 m<sup>3</sup> de entulho de obra deixaram de ser destinados a aterros ou dispostos de forma inadequada. Pode-se destacar que durante o período deste estudo de caso, todo o resíduo classe A gerado no canteiro foi reaproveitado. Vale ressaltar que, apesar dos aspectos positivos sinalizados, a geração de particulados e os ruídos gerados pelo processo de reciclagem devem ser considerados e medidas devem ser tomadas para minimizar estes impactos no canteiro e na equipe envolvida. Algumas medidas recomendadas são: a equipe de reciclagem deve utilizar equipamentos de proteção individual adequados e deve ser realizado estudo para que se promova a devida localização da central de reciclagem no canteiro de obras.



### 4.1.3 Estudo de Caso 3

Como previsto, foi realizado um terceiro estudo de caso com o objetivo de validar a metodologia proposta para sistematização do processo de reciclagem em canteiros de obras.

O Estudo de Caso 3 foi realizado em uma obra de condomínio residencial de alto padrão, constituído por 18 torres e clube com área de lazer comum, totalizando 320.000 m<sup>2</sup> de área total construída, no município de Salvador-Ba. Para construção deste empreendimento foi constituído um consórcio de empresas de grande porte, reconhecidas no mercado nacional, com sistema de gestão da qualidade implantado, segundo a NBR ISO 9001/2000, e com diretrizes claras em favor da segurança do trabalho e da preservação ambiental. Esta obra utilizou sistema construtivo convencional com vedação em blocos de concreto e blocos cerâmicos. Este estudo de caso foi realizado no período de julho a outubro de 2009.

A possibilidade da reciclagem dos resíduos classe A no próprio canteiro mostrou-se como uma excelente alternativa para a destinação responsável destes resíduos. A decisão foi tomada pelos gestores do empreendimento, considerando o porte da obra, o processo construtivo e materiais utilizados, as dificuldades identificadas para a destinação dos RCC em Salvador e a própria filosofia sustentável da empresa.

Após o processo de adesão formal, foi realizado diagnóstico inicial para caracterização das empresas participantes do consórcio e do próprio empreendimento. Nesta etapa foi possível entender a estratégia gerencial adotada que dividiu em praticamente sete obras a gestão operacional do empreendimento. Foram formados grupos de três torres para cada gerente de obra e um responsável pela área de lazer comum. Este último foi designado pela direção do consórcio como responsável pelo processo de reciclagem, sendo este apoiado por um estagiário de engenharia civil e três operários para operação do britador, alimentação da máquina e coleta e armazenamento do agregado reciclado. Na ocasião, todas as torres haviam iniciado seu processo construtivo, algumas estavam na fase da fundação, outras na fase da estrutura e algumas já haviam iniciado a execução da alvenaria de vedação.

Foi detectado ainda, no diagnóstico inicial, que a empresa não possuía nenhuma sistemática para gestão dos RCC no canteiro. Desta forma, foi necessário o estabelecimento de uma estratégia para a segregação dos resíduos classe A nos locais de geração (por torre) e a estruturação de uma central de reciclagem para onde todo o resíduo segregado deveria ser enviado. Esta ação deveria iniciar com a sensibilização dos responsáveis pelas obras das torres e a definição da infraestrutura necessária para a instalação da central.

Em conjunto com o engenheiro responsável pela reciclagem, foi realizado um estudo do canteiro para definição do local de instalação da central de reciclagem, que permitisse o melhor fluxo de segregação do resíduo classe A, alimentação do britador móvel e armazenamento do agregado reciclado. Foram ainda verificados os sistemas de transporte vertical e horizontal disponíveis.

Em função das dificuldades iniciais para articulação de todos os envolvidos com as 19 frentes de serviço, a estratégia foi a instalação da central de reciclagem próxima a central de concreto, para aproveitamento do resíduo desta fonte. Foi definida também a contratação de consultoria especializada para implantação de PGR no canteiro, de modo que estruturasse a capacitação, o processo de segregação e a destinação responsável dos RCC da obra.

Concluída a etapa inicial, a equipe técnica da obra levantou as possibilidades de utilização do agregado reciclado na fabricação de concreto magro e graute das áreas de vivência, além de solo-brita e base e sub-base de pavimentos.

Finalizado o diagnóstico preliminar, foi iniciada a estruturação do processo de reciclagem. Foram preparadas as áreas para instalação do equipamento de britagem móvel, segregação dos resíduos classe A e armazenamento do agregado reciclado. Todos estes componentes formaram a central de reciclagem do canteiro, conforme pode ser visto na figura 41.



Figura 41 Central de reciclagem – Estudo de Caso 3

Após a avaliação das condições de segurança da máquina pelo técnico de segurança da obra, foi viabilizada a instalação elétrica adequada e verificadas as condições de lubrificação do equipamento. A máquina foi posicionada em base regularizada em nível abaixo do local de segregação do resíduo classe A para facilitar sua alimentação, como pode ser observado na figura 42. À mesma altura do caixão de alimentação foi montada a central de operação da máquina, permitindo ao operário responsável o acompanhamento de todo o processo e identificação de possíveis problemas durante a britagem, conforme figura 43.



Figura 42 Alimentação do britador -  
Estudo de Caso 3



Figura 43 Central de operação –  
Estudo de Caso 3

No primeiro momento, enquanto o resíduo classe A das torres não estava sendo segregado adequadamente, foi priorizado o resíduo gerado pela central de concreto. Este resíduo era encaminhado para a área destinada a sua segregação, ao lado da central de reciclagem e, em função da grande dimensão das placas,

passava por uma etapa de redução das suas dimensões por meio de rompimento por martetele, conforme figura 44. Em paralelo foram construídas baias para armazenamento dos agregados reciclados nas três granulometrias que seriam geradas, como pode ser visto na figura 45.



Figura 44 Resíduo classe A –  
Estudo de Caso 3



Figura 45 Baias de agregado reciclado–  
Estudo de Caso 3

A atividade seguinte foi a caracterização gravimétrica do resíduo classe A. Em função da uniformidade do resíduo, oriundo da central de concreto, esta determinação foi realizada de forma visual, pois observou-se que o resíduo tinha predominância, em mais de 95%, de restos de concreto, conforme pode ser observado na figura 46.



Figura 46 Resíduo classe A segregado - Estudo de Caso 3

Em função da natureza do resíduo classe A e considerando o estágio da obra, a empresa optou pela produção de agregados reciclados miúdos e graúdos, em duas dimensões, priorizando a utilização em graute e concreto magro para serem utilizados na construção das áreas de vivência. Estas utilizações são enquadradas,

segundo a NBR 15.116 (ABNT, 2004) como utilização de agregados reciclados em preparo de concreto sem função estrutural.

Pelas necessidades identificadas de agregado reciclado na fração miúda, intermediária e graúda, o britador de mandíbula foi ajustado e foram colocadas as peneiras de 4,8 mm e 12,5 mm. Após a instalação do britador e da análise da composição do resíduo, foi realizada a britagem piloto no dia 11 de agosto de 2009. Esta atividade foi iniciada após o treinamento dos operários na operação do equipamento de britagem móvel, no fluxo de alimentação do britador, no armazenamento do agregado reciclado e na forma correta de coletar as informações referentes a este processo. Foram britados 2 m<sup>3</sup> de resíduo classe A e identificadas possíveis melhorias no processo de alimentação do equipamento e no recolhimento dos agregados gerados. Após este estudo piloto, foi dada continuidade ao processo de britagem e seu monitoramento, enquanto as amostras dos agregados reciclados, nas 3 granulometrias geradas, foram encaminhadas para laboratório contratado pela empresa.



Figura 47 Agregado reciclado miúdo – Estudo de Caso 3



Figura 48 Agregado reciclado graúdo - Estudo de Caso 3



Figura 49 Agregado reciclado graúdo misto – Estudo de Caso 3

Durante as primeiras quatro semanas, que foi considerado como período de avaliação da reciclagem no canteiro, foram obtidos os seguintes resultados:

- Produção: o volume total de resíduo britado foi de 57m<sup>3</sup>, sendo realizada uma média de 7 britagens de 2m<sup>3</sup> por semana.
- Produção de 54,7m<sup>3</sup> de agregado reciclado.
- Produtividade: 1,19m<sup>3</sup>/h.
- O monitoramento do processo de reciclagem estava sendo aprimorado e foram identificadas inconsistências nos dados coletados pelos operários.

Para uma coleta de dados mais precisa, foi designado pela empresa um colaborador, pelo prazo de quatro semanas, para monitorar continuamente o processo e capacitar o servente responsável pela operação e alimentação do britador, a coletar de forma adequada os dados de produção.

Ao longo das quatro semanas seguintes (da 5<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> semana), o processo de reciclagem conseguiu uma significativa melhoria, tanto do ponto de vista de produção quanto de produtividade, obtendo-se os seguintes resultados:

- Produção: o volume total de resíduo britado foi de 96m<sup>3</sup>, sendo realizada uma média de 12 britagens de 2m<sup>3</sup> por semana. Isto significa um aumento de 68,4% de volume de resíduo britado. Vale ressaltar que a máquina ficou 4 dias parada em manutenção durante a 5<sup>a</sup> semana.
- Produção de 79,3m<sup>3</sup> de agregado reciclado.
- Produtividade: 1,78m<sup>3</sup>/h, o que significa 50% de aumento de produtividade em relação às quatro primeiras semanas.

É importante ressaltar que o processo de reciclagem avaliado apresentou algumas dificuldades decorrentes da dimensão do resíduo que estava sendo enviado para a central de reciclagem, oriundo na usina de concretagem. Em função das limitações da abertura do britador de mandíbulas, foi necessária uma redução das dimensões das placas de concreto, com o auxílio de um marteleto, para que o resíduo chegasse ao tamanho adequado para ser britado. Este processo adicional influenciou na produtividade do agregado reciclado e nos custos associados.

Tendo como referência os dados de produtividade das quatro últimas semanas (1,78m<sup>3</sup>/h) e a definição de uma equipe fixa de britagem com 3 serventes, sendo um na operação e alimentação do britador e dois na coleta e armazenamento do agregado reciclado, foi estabelecida a meta de 8m<sup>3</sup> por dia de resíduo britado.

No monitoramento do processo foi utilizado o formulário F03 - Controle do Processo de Reciclagem (APÊNDICE C), no qual foram registrados os dados do volume de resíduo britado e de agregado reciclado e o tempo gasto por britagem. Os dados diários coletados nas primeiras oito semanas estão apresentados no Apêndice I – Monitoramento do processo de reciclagem – Estudo de Caso 3. A consolidação destes dados pode ser vista na tabela 14 e a evolução do processo quanto à produção, produtividade e relação entre o volume de agregado reciclado e

o volume de resíduo britado, pode ser observada nas figuras 50, 51 e 52, respectivamente.

Tabela 14 Monitoramento semanal – Estudo de Caso 3

Período	Volume total de resíduo (m <sup>3</sup> )	Tempo de Produção (h)	Agregado Reciclado (volume m3)				Produtividade (m <sup>3</sup> /hora)	Volume de agregado / Volume de resíduo
			Miúdo	Intermediário	Graudo	Volume total de agregado reciclado (m <sup>3</sup> )		
Semana 1	13	12,3	3,486	3,184	5,334	12,004	1,05	0,92
Semana 2	12	10,3	3,218	2,604	5,460	11,282	1,17	0,94
Semana 3	18	14,6	5,271	4,633	8,505	18,409	1,23	1,02
Semana 4	14	10,7	3,753	2,499	6,741	12,993	1,31	0,93
Semana 5	10	6,6	1,942	2,243	4,566	8,751	1,53	0,88
Semana 6	24	15,6	4,032	5,358	10,689	20,079	1,54	0,84
Semana 7	32	16,8	5,630	6,050	14,574	26,254	1,90	0,82
Semana 8	30	14,1	5,166	5,628	13,428	24,222	2,14	0,81

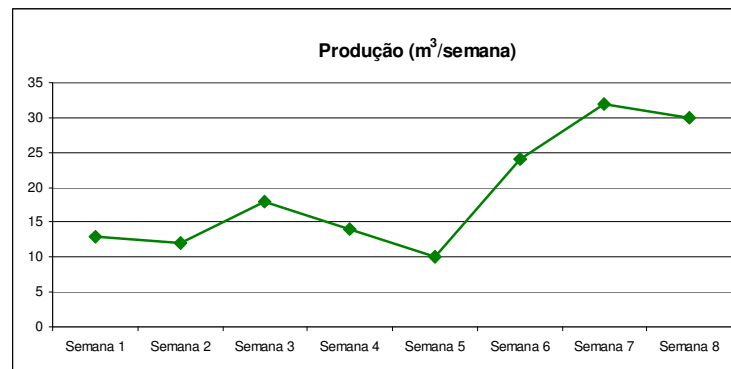


Figura 50 Produção semanal – Estudo de Caso 3

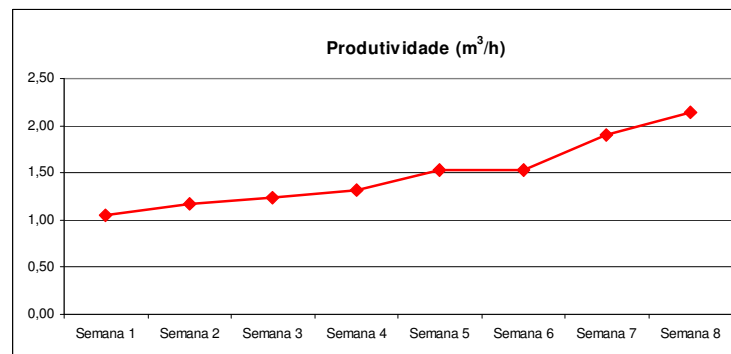


Figura 51 Produtividade semanal – Estudo de Caso 3

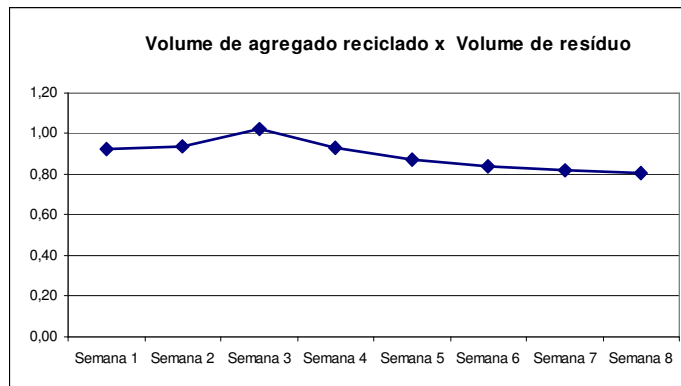


Figura 52 Volume Agregado reciclado x Volume Resíduo – Estudo de Caso 3

Como pode ser observado na figura 52, nas primeiras semanas foram identificados desvios e dificuldades no registro das informações do volume de agregado reciclado gerado em relação ao volume de resíduo britado, chegando o primeiro a superar o volume do segundo. Esta situação foi corrigida, conforme relatado anteriormente, com a colocação de uma pessoa específica para apontar os dados de produção e operação do equipamento de britagem. A partir da quarta semana o processo foi regularizado e as informações coletadas apresentaram-se mais compatíveis com a realidade do processo e com os dados levantados nos dois estudos de caso anteriores.

Avaliando as características da fração graúda dos agregados reciclados gerados nesta obra, foi realizada a determinação da composição dos agregados reciclados seguindo o Anexo A da NBR 15.116 (ABNT, 2004). O resultado da avaliação mostrou que o agregado em estudo deveria ser classificado como agregado de resíduo de concreto (ARC), por possuir mais de 90% da sua fração graúda formada por fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Dando continuidade ao trabalho, os agregados reciclados foram caracterizados e seus resultados avaliados, tendo como referência os parâmetros estabelecidos na NBR 15.116 (ABNT, 2004). Os resultados obtidos e os referenciais utilizados estão apresentados na tabela 15.



Tabela 15 Caracterização dos agregados reciclados – Estudo de caso 3

<b>CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS – ESTUDO DE CASO 3</b>						
<b>ENSAIOS</b>	<b>AM 1<sup>1</sup></b>		<b>AM 2<sup>2</sup></b>		<b>AM 3<sup>3</sup></b>	
	<b>Ensaio</b>	<b>Norma<sup>4</sup></b>	<b>Ensaio</b>	<b>Norma<sup>4</sup></b>	<b>Ensaio</b>	<b>Norma<sup>4</sup></b>
Identificação da Amostra	Areia Reciclada		Brita reciclada 12,5 mm		Brita reciclada 31,5 mm	
Módulo de finura (NBR 7211)	3,26	-	5,87	-	7,46	-
Dimensão máxima característica (mm) (NBR 7211)	6,3	-	12,5	-	31,5	-
Matéria orgânica (NBR NM 49)	-	Mais clara				
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> ) (NBR 7251)	1,28	-	1,22	-	1,21	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) (NM 52)	2,37	-	-	-	-	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) (NM 53)	-	-	2,33	-	2,44	-
Materiais pulverulentos (%) (NM 46)	9,2	15,0	2,0	10,0	0,6	10,0
Coeficiente de inchamento (NBR 6467)	1,20	-				
Absorção de água (%) (NBR NM 30)	-	12,0	-	-	-	-
Absorção de água (%) (NBR NM 53)	-	-	9,0	7,0	6,2	7,0
Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%) (NBR 7218)	0,20	2,0	0,10	2,0	0,2	2,0
<sup>1</sup> agregado miúdo reciclado						
<sup>2</sup> agregado graúdo reciclado						
<sup>3</sup> agregado graúdo misto reciclado						
<sup>4</sup> parâmetros da NBR 15.116 (ABNT, 2004)						

A partir dos resultados de caracterização dos agregados, foi encomendado ao laboratório contratado pela empresa construtora, o desenvolvimento de traços para confecção de concreto magro e graute com a utilização dos agregados reciclados gerados. A premissa passada ao laboratório consistiu na máxima utilização do agregado reciclado, desde que fossem garantidas as características e padrões de desempenho normativo dos produtos em questão.

Os traços propostos e validados pelo laboratório especializado foram consolidados na tabela 16.

Tabela 16 Traços com agregado reciclado – Estudo de Caso 3

<b>TRAÇOS COM AGREGADO RECICLADO – ESTUDO DE CASO 3</b>			
<b>GRAUTE (16 MPa)</b>			
<b>Material</b>	<b>Traço unitário (em massa)</b>	<b>Massas (kg)</b>	<b>Volumes (litros)</b>
Cimento CP II - Z	1	1 saco = 50 kg	1 saco = 50 kg
Areia natural	1,064	53,2	44,3
Areia reciclada (6,3 mm)	0,456	22,8	19,6
Brita reciclada (12,5 mm)	2,177	108,8	89,2
Água	0,600	30	30
Aditivo Cemix 2000	0,50 %	250 ml	250 ml
<b>GRAUTE (20 MPa)</b>			
<b>Material</b>	<b>Traço unitário (em massa)</b>	<b>Massas (kg)</b>	<b>Volumes (litros)</b>
Cimento CP II - Z	1	1 saco = 50 kg	1 saco = 50 kg
Areia natural	0,917	45,9	38,2
Areia reciclada (6,3 mm)	0,393	19,7	16,9
Brita reciclada (12,5 mm)	1,996	99,8	81,8
Água	0,550	27,5	27,5
Aditivo Cemix 2000	0,50 %	250 ml	250 ml
<b>CONCRETO MAGRO (10 MPa)</b>			
<b>Material</b>	<b>Traço unitário (em massa)</b>	<b>Massas (kg)</b>	<b>Volumes (litros)</b>
Cimento CP II - Z	1	1 saco = 50 kg	1 saco = 50 kg
Areia reciclada (6,3 mm)	2,637	131,9	128,8
Brita reciclada (31,5 mm)	3,327	166,4	137,5
Água	0,820	41,0	41,0

Com os traços definidos e em função da demanda da obra, a utilização do agregado reciclado foi iniciada com a produção de graute de 16 MPa para utilização nos pilaretes da área de convivência do canteiro, conforme figura 53. Os agregados miúdos e graúdos reciclados também foram utilizados na regularização de vias de acesso do canteiro de obras, onde seria utilizado agregado natural (Figura 54).



Figura 53 Aplicação do graute 16MPa –  
Estudo de Caso 3



Figura 54 Regularização de vias de acesso –  
Estudo de Caso 3

O mesmo laboratório que definiu os traços ensaiou os materiais propostos e os resultados de desempenho quanto à resistência média à compressão são apresentados na tabela 17.

Tabela 17 Avaliação de desempenho dos materiais - Estudo de caso 3

<b>AValiação DE DESEMPENHO DOS MATERIAIS – ESTUDO DE CASO 3</b>			
<b>Material</b>	<b>Resistência à compressão (3 dias)</b>	<b>Resistência à compressão (7 dias)</b>	<b>Resistência à compressão (28 dias)</b>
Graute 16 MPa	17,7	20,0	25,6
Graute 20 MPa	18,6	20,8	28,7
Concreto Magro 10 MPa	-	6,1	13,3

A tabela 18 apresenta os dados globais das oito primeiras semanas do estudo de caso 3. Até o dia 03 de outubro de 2009 foram britados 153 m<sup>3</sup> de resíduo classe A, ao longo de 39 dias, com a produtividade média de britagem de 1,5 m<sup>3</sup>/hora.

Tabela 18 Dados gerais da reciclagem no canteiro - Estudo de caso 3

<b>DADOS GERAIS – ESTUDO DE CASO 3</b>							
<b>Dias de britagem do estudo de caso</b>	<b>Produtividade média do britador (m<sup>3</sup>/hora)</b>	<b>Volume Total de Resíduo de (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume total de agregado reciclado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Relação entre volume de agregado reciclado e volume de resíduo de concreto</b>	<b>Volume de agregado miúdo reciclado 6,3 mm (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de agregado graúdo reciclado 12,5 mm (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de agregado graúdo reciclado 31,5 mm (m<sup>3</sup>)</b>
39 dias	1,5	153	134	0,88	32,5	32,2	69,3

Neste estudo de caso foi possível realizar uma análise econômica mais criteriosa. A premissa utilizada quanto ao ganho econômico do processo de reciclagem no canteiro, por m<sup>3</sup>, consistiu no valor relativo ao custo do agregado natural (m<sup>3</sup>), acrescido do valor para bota fora de entulho (m<sup>3</sup>) e subtraído do custo para produção do agregado reciclado (m<sup>3</sup>).

$$\text{GER (m}^3\text{)} = \text{CAN (m}^3\text{)} + \text{CBF (m}^3\text{)} - \text{CAR (m}^3\text{)}$$

GER - Ganho econômico da reciclagem  
 CAN - Custo do Agregado Natural  
 CBF - Custo de Bota Fora do entulho  
 CAR - Custo do Agregado Reciclado

Os custos do agregado natural e do bota fora foram informados pela própria empresa. Como pode ser observado na tabela 19, o custo para produção do agregado reciclado foi obtido a partir da avaliação do processo de reciclagem nas

oito primeiras semanas e das melhorias implantadas. Nesta composição foram considerados os custos de mão-de-obra direta com encargos, equipamentos, energia e manutenção. Vale registrar, que pelo caráter de pesquisa, o equipamento de britagem não gerou custo de locação para a empresa. No entanto, o custo com o equipamento (locação ou aquisição) deve ser contabilizado quando pertinente.

Tabela 19 Custo de produção do agregado reciclado – Estudo de caso 3

<b>CUSTO DE PRODUÇÃO DO AGREGADO RECICLADO - ESTUDO DE CASO 3</b>					
<b>ITEM</b>		<b>DATA :</b>	<b>01/10/2009</b>	<b>UN: m³</b>	
<b>A - MÃO-DE-OBRA DIRETA</b>		<b>UN.</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>CUSTO HORA (R\$)</b>	<b>CUSTO (R\$)</b>
Servente 1	h	1,1	5,53	6,08	
Servente 2	h	1,1	5,53	6,08	
Servente 3	h	1,1	5,53	6,08	
Servente 4 (marletele)	h	0,5	5,53	2,76	
<b>TOTAL A</b>				<b>21,00</b>	
<b>B - EQUIPAMENTO / FERRAMENTAS</b>		<b>UN.</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO (R\$)</b>	<b>CUSTO (R\$)</b>
Martelete	h	0,5	2,32	0,50	
Bobcat (transporte)	h	0,17	40,00	6,67	
<b>TOTAL B</b>				<b>7,17</b>	
<b>C - OUTROS CUSTOS</b>		<b>UN.</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>CUSTO UNITÁRIO (R\$)</b>	<b>CUSTO (R\$)</b>
Consumo de energia	watts	0,042	0,25	0,01	
Manutenção da central de reciclagem	h	1	0,85	0,85	
<b>TOTAL C</b>				<b>0,86</b>	
<b>CUSTO DIRETO TOTAL = A + B + C</b>				<b>29,02</b>	

Aplicando a fórmula apresentada na figura 55 e segundo os dados consolidados na tabela 20, o ganho econômico do processo de reciclagem, no referido estudo de caso, totalizou R\$ 43,82 por m<sup>3</sup> de agregado reciclado.

Em função do porte da obra, dos padrões internos de organização e sinalização, critérios de segurança estabelecidos e configuração do canteiro, foi realizado um investimento significativo para implantação da central de britagem. Agregado aos custos da central, a empresa contratou serviços especializados de consultoria e controle tecnológico para apoiar o processo. Todos os itens citados totalizaram um investimento total de R\$ 15.686,90 que se configurou na realidade deste estudo de caso. O investimento para implantação de uma central de reciclagem no canteiro é um item variável que deverá ser avaliado a cada caso.

Para calcular o tempo de retorno do investimento realizado para estruturar a central de reciclagem e para contratação de serviços técnicos especializados, o

valor total do investimento foi dividido pelo ganho econômico unitário, concluindo que seria necessária a geração de, aproximadamente, 358 m<sup>3</sup> de agregado reciclado. Nos primeiros dois meses, em caráter piloto, foram gerados 134 m<sup>3</sup> e restariam 224 m<sup>3</sup> a serem produzidos. Em função do amadurecimento do processo, a partir da oitava semana, foi estimada uma produção de 160 m<sup>3</sup> de agregado reciclado por mês, demandando mais um mês e meio para recuperação total do investimento realizado. A partir deste momento, todo o resultado mensal financeiro, decorrente do volume de agregado reciclado gerado, se configura como retorno econômico, como pode ser visto na tabela 20.

Tabela 20 Análise econômica - Estudo de caso 3

<b>ANÁLISE ECONÔMICA - ESTUDO DE CASO 3</b>	
<b>ITEM</b>	<b>CUSTOS</b>
Custo do agregado reciclado (m <sup>3</sup> )	R\$ 29,02
Custo do agregado natural (m <sup>3</sup> )	R\$ 52,00
Custo do bota fora (m <sup>3</sup> )	R\$ 20,84
<b>(A) Ganho econômico = CUSTO NATURAL+CUSTO DO BOTAFORA -CUSTO DO AGREGADO RECICLADO</b>	<b>R\$ 43,82</b>
<b>(B) Investimento para estruturar a central de reciclagem (infra-estrutura física + transporte do britador)</b>	<b>R\$ 8.956,90</b>
<b>(C) Contratação de serviços técnicos (consultoria + ensaios laboratoriais)</b>	<b>R\$ 6.730,00</b>
<b>RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO</b>	
Ganho econômico por m <sup>3</sup> de agregado reciclado (A)	R\$ 43,82
Investimento total realizado (B+C)	R\$ 15.686,90
<b>(D) Volume de agregado a ser reciclado para recuperar investimento realizado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>357,98</b>
(E) Volume de agregado reciclado no mês 1 (m <sup>3</sup> )	55,00
(F) Volume de agregado reciclado no mês 2 (m <sup>3</sup> )	79,00
(G) Diferença do volume de agregado a ser reciclado para recuperar investimento (D-E-F) (m <sup>3</sup> )	223,98
(H) Volume estimado de agregado reciclado para os meses subsequentes (m <sup>3</sup> /mês)	160,00
(I) Prazo para complementar a produção de agregado reciclado necessário para recuperar o investimento realizado (meses) (G/H)	1,4
<b>Prazo total de produção de agregado reciclado necessário para recuperar o investimento realizado (meses) (I + 2 meses iniciais)</b>	<b>3,4</b>
<b>RETORNO ECONÔMICO</b>	
Ganho estimado para os meses subsequentes a recuperação do investimento (R\$/mês) (A x H)	R\$ 7.011,27

Vale ressaltar que a lógica utilizada nesta análise econômica é comum para a maioria dos casos de reciclagem em canteiros de obras, no entanto, pelo caráter variável de cada empreendimento, faz-se necessária uma análise criteriosa dos custos associados para cada caso específico.

No aspecto ambiental, nas oito primeiras semanas, 134 m<sup>3</sup> de agregado natural deixaram de ser consumidos e 153 m<sup>3</sup> de entulho de obra deixaram de ser destinados a aterros ou dispostos de forma inadequada. Vale ressaltar que todas as precauções foram tomadas para minimizar os impactos ambientais causados pela geração de particulados e pelo ruído do processo, iniciando pelo adequado estudo de implantação da central de reciclagem. A equipe de segurança do trabalho atuou de forma intensiva para evitar quaisquer danos aos operadores envolvidos, disponibilizando todos os equipamentos de proteção individual necessários.

#### 4.1.4 Síntese analítica dos resultados dos estudos de caso

Com a realização dos três estudos de caso foi possível identificar pontos que favorecem a prática da reciclagem em canteiros de obras, assim como possíveis dificuldades para o sucesso desta prática. O quadro 9 consolida pontos positivos e oportunidades de melhorias identificados nos estudos de caso desta pesquisa.

AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO DE RECICLAGEM		
Estudo de Caso	Pontos positivos	Oportunidades de Melhoria
ESTUDO DE CASO 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implantação do Programa de Gestão de Resíduos no canteiro de obra com sistemática definida para a segregação e destinação dos RCC.</li> <li>▪ Boas condições de organização e limpeza do canteiro.</li> <li>▪ Reciclagem de todo o resíduo classe A gerado na obra no período de realização da pesquisa.</li> <li>▪ Aproveitamento de mão-de-obra ociosa para o processo de britagem.</li> <li>▪ Motivação da equipe de operários envolvida com a reciclagem no canteiro.</li> <li>▪ Caracterização do agregado reciclado pela NBR 15.116 (ABNT, 2004).</li> <li>▪ Melhorias promovidas nos formulários criados para a pesquisa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Receio do responsável pela obra de uma utilização mais nobre para o agregado reciclado.</li> <li>▪ Falta de sincronia entre a reciclagem e a execução da obra, visando uma melhor utilização do agregado reciclado.</li> <li>▪ Sobreposição de funções dos profissionais destinados ao acompanhamento da reciclagem.</li> <li>▪ Dificuldade de acesso a informações para estimativa da geração de resíduos classe A e análise dos ganhos econômicos obtidos com a experiência.</li> <li>▪ Falta da realização de ensaios para avaliação de desempenho do material gerado com agregado reciclado.</li> <li>▪ Falta de conhecimento dos técnicos acerca do aproveitamento de agregados reciclados em materiais de construção.</li> </ul>

<b>AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO DE RECICLAGEM</b>		
<b>Estudo de Caso</b>	<b>Pontos positivos</b>	<b>Oportunidades de Melhoria</b>
<b>ESTUDO DE CASO 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resíduo classe A de excelente qualidade, por ser proveniente principalmente de blocos de concreto, argamassas e concreto.</li> <li>▪ Fabricação dos bloco de concreto com agregado reciclado na fábrica de blocos do próprio canteiro.</li> <li>▪ Reciclagem de 100% resíduo classe A gerado no período do estudo.</li> <li>▪ Aproveitamento de mão-de-obra ociosa para o processo de britagem.</li> <li>▪ Desempenho do bloco com substituição de 100% do pó de pedra pelo agregado reciclado melhor do que o bloco de referência.</li> <li>▪ Melhorias implementadas nos formulários propostos e levantamento de dados que permitiram a elaboração do fluxo do processo de reciclagem no canteiro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausência de programa de gestão de resíduos no canteiro o que dificultou a devida segregação e o adequado acondicionamento do resíduo classe A.</li> <li>▪ Deslocamento da central de reciclagem, desestruturando a sistemática inicial de segregação do resíduo classe A e causando a descontinuidade do referido processo por cerca de 60 dias.</li> <li>▪ Dinâmica da pesquisa não acompanhou a dinâmica da obra, dificultando a utilização do resíduo para fabricação dos blocos.</li> <li>▪ Falta de conhecimento dos técnicos envolvidos acerca do aproveitamento de agregados reciclados em materiais de construção.</li> <li>▪ Falta da realização de ensaios para avaliação de desempenho do concreto magro gerado com agregado reciclado para utilização em passeios.</li> </ul>
<b>ESTUDO DE CASO 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resíduo classe A de excelente qualidade, por ser proveniente principalmente de concreto endurecido da central de concretagem.</li> <li>▪ Envolvimento da equipe técnica e dos operários no processo de reciclagem.</li> <li>▪ Diversas possibilidades de utilização dos agregados reciclados.</li> <li>▪ Monitoramento do processo de reciclagem permitindo a coleta de dados para uma eficiente análise técnica e econômica.</li> <li>▪ Aprendizado contínuo do processo com o crescente aumento da produção e da produtividade ao longo das semanas de estudo.</li> <li>▪ Implantação do PGR durante o estudo de reciclagem, promovendo melhoria no processo de segregação do resíduos classe A no canteiro.</li> <li>▪ Bom desempenho dos materiais produzidos com utilização de 50% e 100% de agregados reciclados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grande volume dos resíduos gerados na central de concretagem, demandando uma pré britagem com uso do martelete, o que impactou na produção e nos custos associados.</li> <li>▪ Tamanho da equipe operacional de reciclagem, com 5 operários, justificada pela necessidade de um operador que apontasse os dados do processo com mais precisão e um servente para operação do martelete.</li> <li>▪ Racionalização do processo de reciclagem que permita a redução dos custos do agregado reciclado, principalmente, no que se refere às atividades de fluxo, como transporte, alimentação do britador e armazenamento do produto final.</li> </ul>

## **5. SISTEMATIZAÇÃO DA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS**

A partir da pesquisa bibliográfica e das observações realizadas durante os estudos de caso, foi possível propor uma sistematização do processo de reciclagem em canteiros de obra por meio de fluxograma e procedimento operacional.

A elaboração do fluxograma teve por objetivo a demonstração gráfica de todas as etapas do processo, permitindo a visualização simplificada e global de todas as etapas e sua sequência lógica, assim como as inter-relações entre elas.

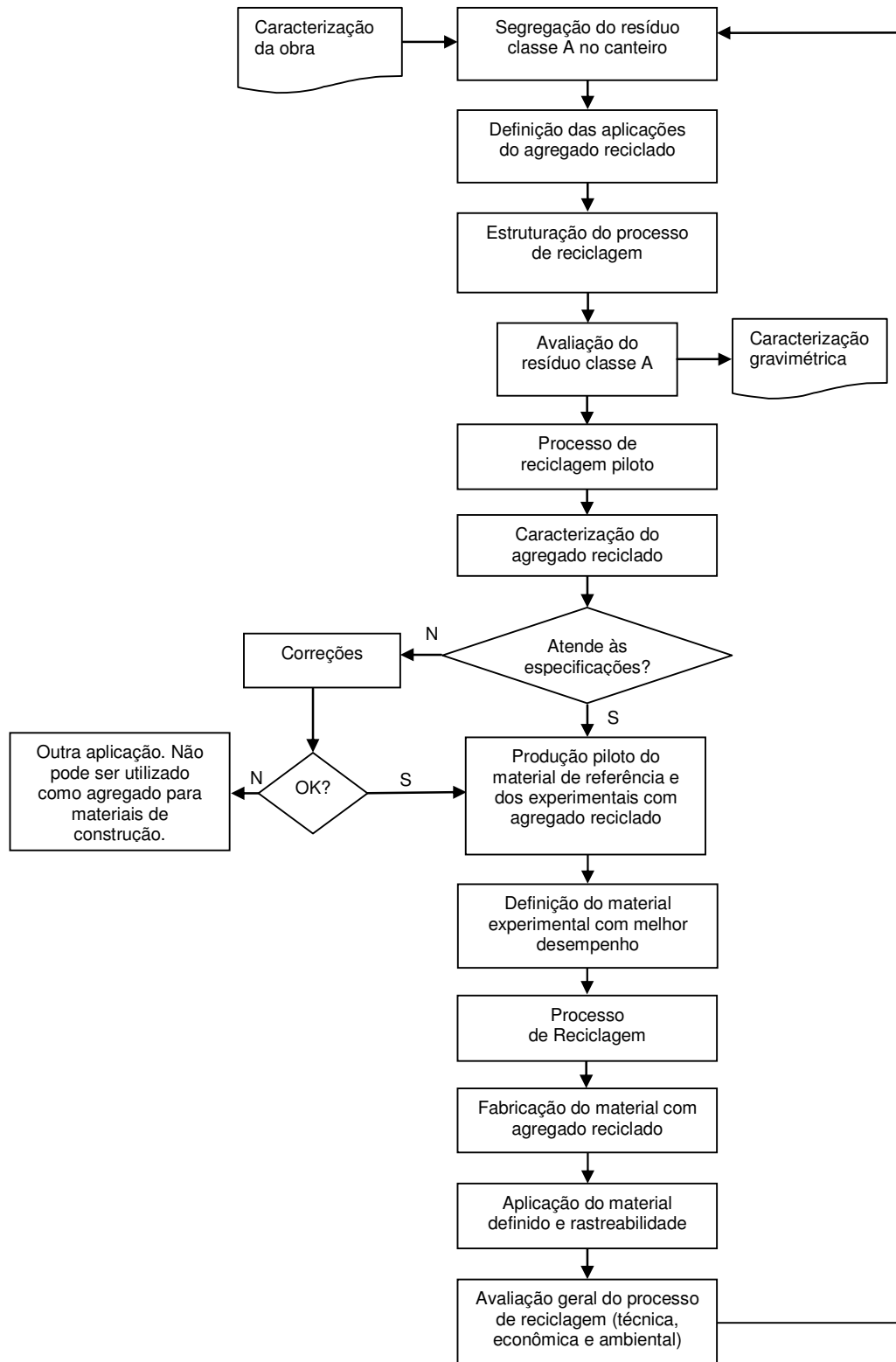
O fluxograma se apresenta como ferramenta de sensibilização junto a técnicos, engenheiros e donos de empresas construtoras no sentido de sensibilizá-los da viabilidade desta prática nos canteiros e da possibilidade de compatibilizar esta atividade ao fluxo de execução das obras.

A elaboração do procedimento visou facilitar a incorporação deste processo ao sistema da qualidade das empresas que já possuem esta prática, assim como uma melhor sistematização para aquelas, que ainda não iniciaram a implantação deste tipo de programa.

O procedimento descreve com maior detalhamento as etapas apresentadas no fluxograma, complementando-o, e trazendo uma sequência das atividades com seus respectivos responsáveis, modelos de formulários que apoiarão a coleta e análise das informações críticas da reciclagem e controle dos registros gerados.



## 5.1 FLUXOGRAMA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRAS



## 5.2 PROCEDIMENTO PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRAS

O procedimento proposto apresenta a sequência das atividades necessárias à implantação do processo de reciclagem dos resíduos classe A nos canteiros de obras. Após a apresentação de seu objetivo, traz a relação dos documentos de referência a serem utilizados ao longo do procedimento e que precisam ser consultados para a realização de alguma etapa específica.

O item seguinte do procedimento descreve as etapas do processo de reciclagem e seus respectivos responsáveis. Estas etapas críticas são:

1. Diagnóstico Inicial da Obra: caracterização geral da obra, identificação das possíveis aplicações para o agregado reciclado, avaliação do cronograma físico e lay-out da obra, definição do processo de segregação do resíduo classe A e indicação do responsável pelo processo de reciclagem no canteiro.
2. Definição das Aplicações do Agregado Reciclado: indicação da aplicação do agregado reciclado (Obras de pavimentação viária ou preparo de concreto sem função estrutural) e as granulometrias necessárias.
3. Estruturação do Processo de Reciclagem: definição da implantação da central de reciclagem (equipamentos, lay-out e logística) e elaboração do planejamento.
4. Caracterização do Resíduo Classe A: análise gravimétrica do resíduo classe A da obra que consiste na determinação do percentual de cada material constituinte na composição geral do resíduo.
5. Monitoramento do Processo de Reciclagem: realização da britagem piloto, britagem inicial de 1 m<sup>3</sup> para validação e ajustes no processo, amostragem do agregado reciclado para caracterização e, na sequência, controle do processo de reciclagem com registro do volume de resíduo britado e do agregado reciclado por granulometria (miúdo e graúdo).
6. Caracterização do Agregado Reciclado: realização dos ensaios no agregado reciclado segundo a NBR 15.116 (ABNT, 2004), análise comparativa dos resultados e validação da utilização do agregado gerado.

7. Produção Piloto do Material com Agregado Reciclado: definição e produção do material de referência com agregado natural que servirá de parâmetro para comparação com os materiais produzidos com o agregado reciclado em diversos percentuais de substituição e produção dos materiais experimentais, substituindo parcial e totalmente os agregados naturais por reciclados.
8. Avaliação do Desempenho do Material com Agregado Reciclado: realização dos ensaios nos materiais de referência e experimentais, segundo as normas técnicas aplicáveis a estes materiais, análise comparativa dos resultados e definição do percentual de substituição que represente o maior aproveitamento de agregados reciclados, desde que garantidas as características e padrões de desempenho requeridos para o material.
9. Aplicação do Material e Rastreabilidade: produção do material com agregado reciclado na fração de substituição definida e controle de sua aplicação.
10. Avaliação do Processo de Reciclagem: análise crítica do processo de reciclagem no canteiro, considerando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Na sequência são relacionados como anexos os formulários propostos para o planejamento da reciclagem, o controle do processo de reciclagem, a avaliação técnica dos agregados reciclados e do material produzido com estes agregados, o controle da produção do referido material e sua aplicação para fins de rastreabilidade e a avaliação global da reciclagem no canteiro nos aspectos técnico, econômico e ambiental.

Finalizando o procedimento é apresentada proposta para controle dos registros gerados quanto à identificação, coleta, recuperação, armazenamento, tipo de arquivo e proteção, tempo de retenção e disposição.

O procedimento no formato final com seus respectivos anexos é apresentado no Apêndice H desta dissertação.

## 6. DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRA

A realização dos estudos de caso e a avaliação dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais envolvidos nestas experiências serviram de referência para a proposição de diretrizes para reciclagem em canteiros de obras. Estas diretrizes representam aspectos que devem ser observados quando da adoção da prática da reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras e da utilização de agregados reciclados na produção de materiais de construção. As diretrizes apresentadas são recomendações para as empresas que desejam reciclar a parcela classe A dos resíduos de seus empreendimentos.

<b>DIRETRIZES PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A EM CANTEIROS DE OBRAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Promover a racionalização dos processos produtivos, minimizando a geração de RCC. Não deve ser estimulada a geração de resíduos como insumo do processo de reciclagem. A prioridade deve ser sempre a não geração.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avaliar criteriosamente o cronograma físico da obra para que se defina de forma adequada a implantação do processo de reciclagem, considerando o início dos serviços que potencialmente geram resíduos classe A (fase de estrutura, vedação e revestimento) e aqueles que utilizarão os produtos gerados com agregado reciclado.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Promover a adequada segregação dos resíduos classe A, evitando qualquer tipo de contaminação que possa prejudicar a reciclagem e a qualidade do agregado reciclado.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudar o lay out do canteiro com foco no processo de reciclagem para promover a implantação da referida central, minimizando a movimentação destas instalações e facilitando o fluxo de segregação dos resíduos classe A, a alimentação do processo de britagem e o armazenamento do agregado reciclado.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Definir um responsável pelo processo de reciclagem com autonomia para definir e liderar a equipe envolvida, prover a infra-estrutura necessária e conduzir as atividades relativas a reciclagem no canteiro da obra.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar a avaliação técnica dos agregados reciclados, antes de sua aplicação em materiais de construção, tendo como referência a NBR 15.116:2004 - Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural – Requisitos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Promover a utilização dos agregados reciclados na produção de materiais de construção, tendo como premissa principal a maior utilização dos agregados reciclados, desde que respeitados os limites de desempenho requeridos para o produto final.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar ensaios para verificação de desempenho dos materiais produzidos com agregados reciclados e promover a devida rastreabilidade da aplicação destes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Promover as condições de segurança adequadas para a realização da reciclagem no canteiro, evitando impactos ao ambiente e aos profissionais envolvidos no processo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Racionalizar o processo de reciclagem no canteiro, visando à redução dos fluxos de transporte e tempos improdutos e, conseqüentemente, os custos de produção do agregado reciclado.</li> </ul>

Quadro 10 Diretrizes para reciclagem de resíduos classe A em canteiros

## 7. CONCLUSÃO

Diante de todas as informações contidas neste trabalho, seja por meio das referências apresentadas ou dos resultados obtidos nos três estudos de caso de experiências de reciclagem em canteiros, é evidente o caráter crítico do manejo dos resíduos de construção no Brasil. A situação apresentada reforça a necessidade de um movimento urgente e conjunto de toda a sociedade no sentido de propor alternativas sustentáveis para minimizar os seus impactos ambientais e promover a sua destinação responsável.

O cenário da geração dos RCC na RMS é preocupante, em função do forte crescimento do mercado imobiliário, da realização de obras de infra-estrutura e do déficit habitacional. Além dos fatores citados, é possível acrescentar os entraves quanto à destinação adequada, levando-se em conta o esgotamento das áreas de recebimento para RCC, a inexistência de áreas de transbordo, triagem e reciclagem e a inércia do poder público municipal diante desta situação.

O RCC, constituído em sua maioria de resíduos classe A, com alto potencial de reciclagem, pode e deve ser reaproveitado, reutilizado ou reciclado como forma de minimizar os nocivos impactos ambientais que atualmente vem ocorrendo em toda a RMS, em virtude de seu descarte inadequado.

Com base no trabalho realizado conclui-se pela viabilidade da reciclagem em canteiros de obras. No entanto, é importante ressaltar que diversos aspectos devem ser considerados para o sucesso desta prática, a exemplo da correta segregação dos resíduos classe A, da avaliação técnica dos agregados reciclados e da análise de desempenho dos materiais gerados com estes agregados.

Constatou-se que a reciclagem em canteiros é passível de ser sistematizada, na forma de etapas e procedimentos, e que esta sistematização contribui para a ampliação dos conhecimentos técnicos e sua implantação nos canteiros de obras.

Com base nas experiências estudadas verificou-se que há benefícios econômicos e ambientais decorrentes da prática da reciclagem em canteiros de obras. No aspecto ambiental, um volume significativo de RCC deixou de ser destinado de forma irregular ou de ser enviado para aterro, cerca de 80% deste volume se converteu em agregado reciclado que substituiu a utilização de agregado

natural. Foi também promovida à responsabilidade social e ambiental das empresas e dos profissionais envolvidos. No aspecto econômico, apesar do investimento realizado e dos gastos diretos para reciclar o resíduo classe A nos canteiros, foi possível constatar a possibilidade de retorno financeiro decorrente da economia realizada com bota fora e aquisição de agregado natural.

Como fatores facilitadores do processo de reciclagem em canteiros de obras destacam-se:

- Implantação de Programas de Gestão de Resíduos de construção em canteiros de obras promovem a correta segregação e favorecem o reaproveitamento e a reciclagem.
- Alto potencial de reciclagem dos resíduos classe A.
- Existência de estudos anteriores que validam a utilização de agregados reciclados de RCC em materiais de construção.
- Existência de normas que regulamentam a utilização de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção em materiais de construção.
- Grande variedade de opções de utilização dos agregados reciclados nas próprias obras.
- Possibilidade de aproveitamento da mão-de-obra ociosa no canteiro para o processo de reciclagem.
- Alternativa de manejo vantajosa para locais com escassez de áreas para destinação ou com recursos financeiros escassos.

Como fatores que dificultam o processo de implantação da reciclagem nos canteiros de obras observa-se:

- Ausência de políticas públicas que estimulem a utilização do agregado reciclado.
- Desconhecimento técnico dos construtores e técnicos envolvidos acerca do tema da reciclagem e aplicação de agregados reciclados em materiais de construção.
- Temor dos construtores na utilização do agregado reciclado em aplicações mais nobres, apesar dos resultados positivos comprovados.

- O caráter heterogêneo e a grande variação de composição dos RCC nas suas diversas ocorrências.
- Falta de planejamento que gere sincronia entre o processo de reciclagem e o andamento da obra, favorecendo a utilização do agregado reciclado nas etapas e serviços em andamento.
- Falta de definição do responsável pelo processo de reciclagem no canteiro ou a sobreposição de funções deste responsável, que não lhe permite priorizar a reciclagem.
- Falta de controle tecnológico nas obras e da prática da realização de ensaios de desempenho de produto.

No sentido de contribuir para aumentar o conhecimento sobre o assunto tratado, recomenda-se para pesquisas futuras o aprofundamento acerca dos temas:

- Aplicação de agregados reciclados de construção em civil gerados em canteiros de obras nas utilizações de camadas de pavimentação e artefatos de concreto sem função estrutural.
- Utilização de agregados reciclados de construção civil em concreto com função estrutural.
- Rastreabilidade de materiais produzidos com agregados reciclados de construção civil e avaliação do seu desempenho ao longo do tempo.
- Estudo de lay out para implantação de central de reciclagem em canteiros de obras.
- Equipamentos móveis de britagem para reciclagem de RCC nos canteiros.
- Eficiência do processo de reciclagem de RCC em canteiros de obras com avaliação da produtividade do equipamento e da equipe envolvida.
- Custo de produção de agregados reciclados em canteiros de obras e sua viabilidade econômica.

Espera-se com este trabalho que o processo de reciclagem nos canteiros de obras possa ser disseminado e que sua prática seja ampliada como alternativa sustentável para destinação dos resíduos classe A gerados pela atividade construtiva.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. G. M. et al. Análise da Implantação de Programa de Gestão Diferenciada de Resíduos em Canteiros de Obras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005.

AMERICANA/SP se beneficia ao utilizar material reciclado nas obras de pavimentação. **Jornal Entre Bairros**. Natal, 06 nov. 2008. Disponível em: <[http://www.entrebairros.com.br/v1/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1360&Itemid=62](http://www.entrebairros.com.br/v1/index.php?option=com_content&task=view&id=1360&Itemid=62)>. Acesso em 23 mai. 2009.

ARAGÃO, H. G. et al. Produção e avaliação de lajes pré-moldadas de concreto contendo resíduo de construção e demolição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.136** – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7.211** – Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.006** – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.007** – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.112**: Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos – Áreas de Transbordo e Triagem – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.113**: Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.114**: Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.115**: Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Execução de Camadas de Pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.116**: Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30** – Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46** – Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu$ m. Rio de Janeiro: 2003.



\_\_\_\_\_. **NBR NM 49** – Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52** – Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53** – Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248** – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: 2003.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. II, n. I, p. 65-72. São Paulo, 2006.

BARBOSA JÚNIOR, A. S.; FORTES, R. M. Estudo da utilização de agregado reciclado em misturas de concreto de cimento Portland para pavimentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008. 1 CD-ROOM.

BENGE, J.; PENA, J.; ORTIZ, I. Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of High Performance Concrete. In: ENGINEERING EDUCATION AT THE CROSSROADS, 2008, Indiana - U.S.A. **Anais eletrônicos...** Indiana: Rose-Hulman Institute of Technology, 2008. Disponível em: <<http://www.asee4ilin.org/Conference2008/SESSIONS>>. Acesso em 06 jun. 2009.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras** (Dossiê Técnico). Brasília, 2007. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – Universidade de Brasília.

BLUMENSCHNEIN, R.; SPOSTO, R. M. **Projeto de gerenciamento de resíduos sólidos em canteiros de obras**: Programa de Gestão de Materiais. (Cartilha). Publicação: UnB, CBIC, SINDUSCON-DF, SINDUSCON-GO, Prefeitura de Goiânia. Brasília, 2003, snp.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. Construction waste: quantification and source evaluation. **Journal of construction engineering and management**, Netherlands, p. 55-60, march 1996.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Panorama dos resíduos de construção e demolição (RCD) no Brasil**. Brasília, DF. 2005. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/biblioteca/residuos-de-construcao-e-demolicao/panorama-residuos-da-construcao/>>. Acesso em 22 mai. 2009.

BRASIL, Presidência da República. **Lei 10.257, de 10 de julho de 2001**: Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm)>. Brasília, DF. Acesso em 29 abr. 2009.

- BRASIL, Presidência da República. **Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007:** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)>. Brasília, DF. Acesso em 28 abr. 2009.
- BRESSAN, F. O método do estudo de caso. **Administração on Line**. v. 1, n. 1. São Paulo, 2000. Disponível em: <[http://www.fecap.br/adm\\_online/art11/flavio.htm](http://www.fecap.br/adm_online/art11/flavio.htm)>. São Paulo, SP. Acesso em 29 abr. 2009.
- CAMPOS, A. A. Gestão de Resíduos em Canteiro de Obras. In: CICLO DE DEBATES SOBRE CONSTRUÇÃO CIVIL SUSTENTÁVEL - Secretária de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, 2007, São Paulo. **Palestras...**São Paulo: 2007.
- CAPONERO, J.; ALMEIDA, T. G. M. **Diagramas de Blocos da Construção Civil**. Salvador: SENAI-BA, 2006. 32 p.
- CARNEIRO, A. P. et al. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção – projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.
- CARVALHO, K. Reciclagem II: Caenge beneficia no próprio canteiro o entulho demolido de uma antiga edificação. **Construção mercado**, n. 75, out. São Paulo, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002:** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Brasília, DF. Acesso em 13 set. 2004.
- EKANAYAKE, L. L.; OFORI, G. Construction material waste source evaluation. In: STRATEGIES FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT. **Proceedings...** Pretória, August 2000, p. 23-25.
- EMPRESA DE LIMPEZA URBANA DO SALVADOR (LIMPURB). **Relatório anual de atividades da LIMPURB – 2006**. Salvador: 2006.
- \_\_\_\_\_. **Resumo do Plano de Gestão Diferenciada de Entulho**. Salvador: 2005.
- FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M.; Gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP **Exacta**, Vol. 5, n. 1, p. 35-45. jan./jun. São Paulo, 2007.
- GAMBIN, N.; LEO, C.; RAHMAN, A. Recycling of construction and demolition material as part of the waste minimization strategy in the Sydney Basin and possible lessons for the Himalayas. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE GREAT HIMALAYAS, 2004, Kathmandu. **Proceedings...**Disponível em: <<http://www.aehms.org/pdf/Leo%20Proceedings%20FE.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2009.
- GOONAN, T.G. Recycled Aggregates – profitable resource conservation. **U. S. Geological Survey**. FS-181-99, 2p. 2000. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/fs-0181-99/fs-0181-99so.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2009.

INFORÇATO, B. G. et al. Incorporação de resíduos de construção em argamassa armada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.

JADOVSKI, I. **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2006. 182 p. Trabalho de Conclusão (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. 270 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. São Paulo, 2001. 199 p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

LIMA, J. A. R. et al. **Manual Resíduos de Construção: da geração à destinação responsável**. Salvador: SENAI-BA, 2007. 20 p.

LORDÉLO, P. M.; EVANGELISTA, P. P. A.; FERRAZ, T. G. A. **Gestão de resíduos na construção civil: redução, reutilização e reciclagem**. Salvador: SENAI-BA, 2007. 86 p.

MAXPESS NET. Construção: reciclagem nos canteiros de obras. **DeFato.inf.br**. Chapecó, SC, 2008. Disponível em: <<http://www.defato.inf.br/content/view/5303/96/>>. Acesso em: 25 mai. 2009.

MELO, T. M. et al. Panorama dos resíduos de construção em Goiânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. São Paulo, 2005. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

NOTÍCIAS do setor. Setor vive momento de forte expansão. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 11 set. 2008.

OLIVEIRA, P. E. S.; OLIVEIRA, J. T. R.; FERREIRA, S. R. M. Avaliação do desempenho do concreto com uso de agregado de Resíduos de Construção e Demolição - RCD. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.

PESSOA, E. V. **Gestão de Resíduos de Construção Civil**: Alternativas adotadas para segregação, coleta e destinação de resíduos de construção de edificações com base em um estudo de casos. Salvador, 2006. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P.; GONZÁLEZ, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Volume 1 - Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: CAIXA, 2005. 196p.

PITTA, R. Usina de reciclagem da Prefeitura gera renda e traz ganhos ambientais. Prefeitura Municipal de Campinas. **Notícias...** Campinas, SP, 2005. Disponível em: <[http://www.campinas.sp.gov.br/noticias/?not\\_id=1&sec\\_id=&link\\_rss=http://www.campinas.sp.gov.br/admin/ler\\_noticia.php?not\\_id=9410](http://www.campinas.sp.gov.br/noticias/?not_id=1&sec_id=&link_rss=http://www.campinas.sp.gov.br/admin/ler_noticia.php?not_id=9410)>. Acesso em: 24 mai. 2009.

PUIG, T. F. La problemática de la gestión de los residuos de construcción: Una aproximación al estado actual de la cuestión. In: IV CONVENCION DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA – CONTRART 2006, 2006, Valladolid. **Comunicación electrónica...** Disponível em: <<http://www.coaatm.es/Formularios/DownLoadPage.aspx?DownloadFile=31/fich9868.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2009.

SALES, A. T. C. **Utilização de agregados, obtidos por reciclagem de resíduos sólidos da construção civil, em misturas cimentícias – concreto, blocos pré-moldados e argamassa** (Relatório de pesquisa). Aracaju: SENAI-SE, 2006. 123 p.

SALES, A. T. C.; SANTOS, D. G. Aplicação de agregados reciclados de resíduos de construção em blocos pré-moldados de vedação. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, 2009, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana, 2009.

SILVA, J. C. et al. Reciclagem de entulho da construção civil. In: X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E DO VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, DA UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, 2006, São José dos Campos - SP. **Anais...** São José dos Campos – SP, 2006.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS (SINDUSCON-MG). **Alternativas Para a Destinação de Resíduos da Construção Civil**. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2006. 80 p.

SOUSA, J. G. G.; BAUER, E.; SPOSTO, R. M. Blocos de concreto produzidos com agregados provenientes da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002.

SOUZA, U. E. L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.

SPOSTO, R. M. Os resíduos da construção: problema ou solução? **Revista Espaço Acadêmico**. Brasília, DF, ano VI, n. 61, 2006. Disponível em: <<http://www.espacoacademico.com.br/061/61sposto.htm>>. Acesso em: 24 mai. 2009.

STERNIERE, L. C.; PIMENTEL, L. L.; LINTZ, R. C. C.. Análise dos benefícios gerados pela implantação de modelo de gestão de resíduos em canteiros de obras de construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.

TENÓRIO, J. J. L. et al. Concretos produzidos com agregados de RCD reciclado visando uso estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008.1 CD-ROOM.

TURMINA, R. F.; BARROS, M. S. B. Contrapiso com entulho de obra: uma solução viável? In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. p. 1643-1652.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**. v. 4, n. 4, p. 47-63. Porto Alegre, 2004.

WEIL, W.; JESKE, U.; SCHEBEK, L. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. **Waste Management and Research**, Denmark, Vol. 24, n. 3, p. 197-206, jun. 2006.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas, 1997. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil - FEC, Universidade Estadual de Campinas.

## APÊNDICE A – Diagnóstico Inicial

F01 - DIAGNÓSTICO INICIAL
<b>IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA</b>
EMPRESA:
ENDEREÇO:
RAMO DE ATUAÇÃO:
TEMPO NO MERCADO:
RESPONSÁVEL:
CARGO/FUNÇÃO:
<b>1. OBJETIVOS DA ALTA DIREÇÃO COM A RECICLAGEM</b>
<i>Motivos da decisão pela reciclagem no próprio canteiro.</i>
<b>2. CARACTERIZAÇÃO DA OBRA</b>
<i>Descrição geral, área total construída, sistema construtivo utilizado, etapa atual e cronograma macro de execução, sistemas de transporte horizontal e vertical utilizado, sistemática de segregação de resíduos no canteiro.</i>
<b>3. EQUIPE TÉCNICA ENVOLVIDA</b>
<i>Equipe técnica disponível para se responsabilizar pelo processo de reciclagem no canteiro e a equipe operacional para realizar a reciclagem.</i>
<b>4. ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA E LAY OUT DO CANTEIRO</b>
<i>Espaço físico do canteiro para segregação dos resíduos Classe A, posicionamento da central de reciclagem e armazenamento dos agregados reciclados.</i>
<b>5. POSSÍVEIS APLICAÇÕES DO AGREGADO RECICLADO</b>
<i>Possíveis aplicações para o agregado reciclado em função do estágio da obra e dos serviços previstos no empreendimento que demandem a utilização de agregados.</i>
<b>6. OUTRAS OBSERVAÇÕES</b>

## APÊNDICE B – Relatório de Acompanhamento da Reciclagem no Canteiro

F02 - RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DA RECICLAGEM NO CANTEIRO CARACTERIZAÇÃO E PLANEJAMENTO
IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA
EMPRESA:
ENDEREÇO:
RESPONSÁVEIS:
DESCRIÇÃO: <i>ramo de atuação, tempo de atuação no mercado baiano, práticas de gestão, certificação da qualidade, outros.</i>
PRÁTICA DE GESTÃO DE RESÍDUOS E/OU RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS: <i>ações da empresa no que diz respeito a segregação dos RCC, alternativas de destinação final destes resíduos e se possui alguma experiência no reaproveitamento ou reciclagem de RCC.</i>
OUTRAS INFORMAÇÕES: <i>outras informações julgadas pertinentes.</i>
CARACTERIZAÇÃO DA OBRA
OBRA:
RESPONSÁVEL TÉCNICO:
DESCRIÇÃO: <i>caracterização do empreendimento, área total construída, identificação dos serviços geradores de resíduos Classe A.</i>
EQUIPE TÉCNICA ENVOLVIDA NA RECICLAGEM: <i>identificação dos profissionais responsáveis pelo processo de reciclagem no canteiro e seu acompanhamento.</i>
OUTROS PROFISSIONAIS ENVOLVIDOS: <i>identificação dos operários que vão executar a reciclagem no canteiro.</i>
RESUMO DO PGRCC (Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil), CASO EXISTA: <i>considerações do PGRCC quanto a geração, segregação e destinação dos resíduos Classe A.</i>
OUTRAS INFORMAÇÕES: <i>outras informações julgadas pertinentes.</i>

<b>PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE RECICLAGEM</b>
---

<b>EQUIPAMENTO DE BRITAGEM</b>
--------------------------------

ESPECIFICAÇÃO: *descrever o equipamento de britagem utilizado, sua capacidade de produção e outras informações julgadas importantes.*

FOTO: *registro fotográfico do equipamento.*

LAYOUT DO CANTEIRO (ÁREA DE RECICLAGEM): *representação esquemática da área de britagem ou registro fotográfico.*

<b>CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS CLASSE A</b>
---

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA (NBR 10.007/2004): *A amostra deve ser pesada e classificada visualmente, sendo separados os componentes pelo processo de catação e peneiramento, em seguida devem ser determinados os pesos de cada componente e o valor percentual correspondente.*

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA (COMPOSIÇÃO / GRÁFICO)

<b>APLICAÇÕES DO AGREGADO RECICLADO</b>
---

USO DO AGREGADO RECICLADO:

TRAÇO DE REFERÊNCIA :

TIPO DO AGREGADO RECICLADO:

LOCAL DE UTILIZAÇÃO:

<b>PROCESSO DE BRITAGEM DOS RESÍDUOS</b>
--

AJUSTES DO BRITADOR E OUTRAS INFORMAÇÕES:



**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RECICLAGEM****TÉCNICA**

**AVALIAÇÃO GERAL DAS CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO RECICLADO:** *conclusão em função dos dados coletados no F04 - Avaliação técnica dos agregados*

**DEFINIÇÃO DO TRAÇO E DA MISTURA DE REFERÊNCIA IDEAL:** *conclusão em função dos dados coletados no F05 - Avaliação técnica do material com agregado reciclado*

**MATERIAL PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO (QUANTIDADE TOTAL E LOCAIS DE APLICAÇÃO):** *conclusão em função dos dados coletados no F06 - Controle do processo de produção e aplicação do material com agregado reciclado.*

**ECONÔMICA**

**AVALIAÇÃO GERAL DOS ASPECTOS ECONÔMICOS:** *conclusão em função dos dados coletados no F07 - Avaliação econômica e ambiental do processo de reciclagem no canteiro.*

**AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO GERAL DOS ASPECTOS AMBIENTAIS:** *conclusão em função dos dados coletados no F07 - Avaliação econômica e ambiental do processo de reciclagem no canteiro.*

**CONCLUSÕES**

## APÊNDICE C – Controle do processo de reciclagem

F03 - CONTROLE DO PROCESSO DE RECICLAGEM						
<b>Obra:</b>						
<b>Piloto de referência</b>						
<b>Data:</b>			<b>Responsável:</b>			
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
<b>Produção</b>						
<b>Data:</b>			<b>Responsável:</b>			
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
<b>Data:</b>			<b>Responsável:</b>			
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
<b>Data:</b>			<b>Responsável:</b>			
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
<b>Data:</b>			<b>Responsável:</b>			
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
<b>Data:</b>			<b>Responsável:</b>			
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		

## APÊNDICE D – Avaliação técnica dos agregados reciclados

F04 - AVALIAÇÃO TÉCNICA DOS AGREGADOS RECICLADOS				
Obra:				
APLICAÇÃO				
Agregado Reciclado para uso em concreto sem função estrutural				
Agregado Reciclado para uso em obras de pavimentação viária				
REQUISITOS GERAIS				
Agregado graúdo (brita reciclada)				
Norma	Descrição	Limite normativo	Resultado (s)	Comentários
Agregado miúdo (areia reciclada)				
Norma	Descrição	Limite normativo	Resultado (s)	Comentários
REQUISITOS ESPECÍFICOS (Apenas para uso em pavimentação)				
Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação	
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	≤ 1,0	Normal	
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	≤ 1,0	Intermediária	
Material para execução de base de pavimento <sup>1</sup>	≥ 60	≤ 0,5	Intermediária ou modificada	
<sup>1</sup> Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.				

## APÊNDICE E - Avaliação técnica do material com agregado reciclado

### F05 - AVALIAÇÃO TÉCNICA DO MATERIAL COM AGREGADO RECICLADO

Obra:

Aplicação Selecionada:

Material com agregado natural				
Mistura de referência:				
Norma	Descrição	Limite normativo	Resultado	Observações
Material com agregado reciclado				
Mistura experimental:				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
Mistura experimental:				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
Mistura experimental:				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
Mistura experimental:				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
Avaliação Final:				

## APÊNDICE F – Controle da produção e aplicação do material com agregado reciclado

F06 - CONTROLE DA PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DO MATERIAL COM AGREGADO RECICLADO					
Obra:					
Produção				Rastreabilidade	
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:				Data:	
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações

## APÊNDICE G – Avaliação econômica e ambiental do processo de reciclagem no canteiro

F07 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL DO PROCESSO DE RECICLAGEM NO CANTEIRO									
<b>Obra:</b>									
<b>ANÁLISE FINANCEIRA COMPARATIVA DOS MATERIAIS (AGREGADO NATURAL X AGREGADO RECICLADO)</b>									
CUSTO DE PRODUÇÃO (MATERIAL DE REFERÊNCIA): <i>levantar composição e o custo unitário do material selecionado utilizando o agregado natural.</i>									
CUSTO DE PRODUÇÃO (MATERIAL COM AGREGADO RECICLADO): <i>levantar composição e o custo unitário do material selecionado utilizando o agregado reciclado. Deve ser considerado para a composição do agregado, o custo para a produção do agregado reciclado (pessoal, depreciação do equipamento, energia...).</i>									
CUSTO ESTIMADO PARA DESTINAÇÃO DO RESÍDUO RECICLADO: <i>levantar o custo unitário para destinação do resíduo classe A.</i>									
Custo unitário do material de referência (R\$)	Custo unitário do material com agregado reciclado (R\$)	unidade	quantidade total	Custo total de produção do material de referência (R\$)	Custo total de produção do material com agregado reciclado (R\$)	Volume total de resíduo classe A reciclado (m <sup>3</sup> )	Custo unitário para destinação dos resíduos classe A (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo total para a destinação dos resíduos classe A (R\$)	Resultado econômico do processo de reciclagem no canteiro
0,00	0,00		0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
ANÁLISE AMBIENTAL DO PROCESSO DE RECICLAGEM NO CANTEIRO									
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO CLASSE A RECICLADO:									
VOLUME TOTAL DE AGREGADO RECICLADO UTILIZADO:									
<i>Comentário geral acerca da redução da destinação do resíduo classe para aterros, redução do consumo de agregado natural e outras considerações da empresa.</i>									
CONCLUSÕES									
<i>Comentários finais acerca dos impactos gerados pelo processo de reciclagem no canteiros, considerando os aspectos econômicos e ambientais consolidados, e da viabilidade desta prática no canteiro de obras.</i>									

## APÊNDICE H – Procedimento para reciclagem de resíduos classe A em canteiros de obras

<b>LOGO</b>	<b>RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A</b>	Página X de X
-------------	--	---------------

### 1. OBJETIVO

Definir a sequência das atividades necessárias para sistematizar o processo de reciclagem de resíduos classe A nos canteiros de obras da empresa, promovendo esta prática como alternativa sustentável para destinação dos referidos resíduos.

### 2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

NBR 10.007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos

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

### 3. PROCEDIMENTO E RESPONSABILIDADES

<b>3.1. Diagnóstico Inicial da Obra</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar a caracterização geral da obra</li> <li>• Identificar as possíveis aplicações para o agregado reciclado.</li> <li>• Avaliar o cronograma físico da obra para compatibilizar o fluxo da geração de resíduos, reciclagem no canteiro e utilização do agregado reciclado.</li> <li>• Realizar avaliação preliminar do layout do canteiro e das possibilidades de instalação da central de reciclagem.</li> <li>• Definir o processo de segregação do resíduo classe A no canteiro:               <ul style="list-style-type: none"> <li>√ Estabelecer a sistemática de segregação dos resíduos classe A nos locais onde o resíduo será gerado.</li> <li>√ Capacitar todos os envolvidos na execução de serviços geradores de resíduo classe A quanto a sua caracterização, correta segregação e necessidade de sua preservação de contaminantes.</li> <li>√ Definir local para segregação final dos resíduos classe A.</li> </ul> </li> <li>• Definir o responsável pelo processo de reciclagem da obra</li> </ul>	Equipe técnica da obra
<b>3.2. Definição das Aplicações do Agregado Reciclado</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir a aplicação do agregado reciclado e das granulometrias necessárias.</li> <li>• A aplicação deve seguir a NBR 15.116:2004 em um dos dois grupos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>√ Obras de pavimentação viária: reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas.</li> <li>√ Preparo de concreto sem função estrutural: enchimentos, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais.</li> </ul> </li> </ul>	Equipe técnica da obra
<b>3.3. Estruturação do Processo de Reciclagem</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilizar equipamento de britagem existente ou identificar, em função do volume de resíduos projetado conforme item 3.1, o sistema de britagem adequado para o empreendimento.</li> <li>• Estudar o canteiro para definição do local de instalação da central de reciclagem, considerando a segregação do resíduo classe A, as dimensões dos equipamentos que farão a britagem e o peneiramento do resíduo, bem como o local de armazenamento do agregado reciclado.</li> <li>• Registrar o planejamento da reciclagem no Anexo 1 - Planejamento da Reciclagem no Canteiro</li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem

<b>LOGO</b>	<b>RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A</b>	Página X de X
-------------	--	---------------

<b>3.4. Caracterização do Resíduo Classe A</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coletar amostra do resíduo classe A segregado, conforme detalhado na NBR 10.007:2004.</li> <li>• Pesquisar e classificar visualmente a amostra, sendo separados os componentes por tipo de material: solo, rocha, concreto, argamassa, materiais cerâmicos e outros (madeira, plástico, metal, papel...).</li> <li>• Pesquisar individualmente os materiais e determinar seu percentual na amostra total (caracterização gravimétrica).</li> <li>• Em função dos resultados apresentados, o resíduo classe A da obra deverá gerar agregados reciclados em uma das categorias abaixo: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ARC – Agregado de Resíduo de Concreto: quando mais de 90% da fração graúda do agregado for constituída por fragmentos à base de cimento e rochas.</li> <li>✓ARM – Agregado de Resíduo Misto: quando menos de 90% da fração graúda do agregado for constituída por fragmentos à base de cimento e rochas.</li> </ul> </li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem
<b>3.5. Monitoramento do Processo de Reciclagem</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar britagem piloto que consiste na britagem de 1 m<sup>3</sup> de resíduo para avaliação do processo quanto a produtividade, volume de agregado reciclado e eficiência do processo.</li> <li>• Gerar amostra(s) de agregado reciclado para caracterização.</li> <li>• Acompanhar o processo de reciclagem, controlando: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓Volume de resíduo processado;</li> <li>✓produtividade (m<sup>3</sup>/hora);</li> <li>✓volume de agregado reciclado por granulometria;</li> <li>✓ocorrências/observações.</li> </ul> </li> <li>• Registrar as informações coletadas semanalmente no Anexo 2 - Controle do Processo de Reciclagem.</li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem
<b>3.6. Caracterização do Agregado Reciclado</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar os agregados reciclados (graúdo e/ou miúdo), segundo a NBR 15.116:2004 e de acordo com a aplicação definida: pavimentação ou preparo de concreto sem função estrutural.</li> <li>• Avaliar os resultados dos ensaios com os parâmetros normativos e verificar a necessidade de ajustes.</li> <li>• Validar a utilização dos agregados reciclados obtidos, consolidando as informações no Anexo 3 – Avaliação Técnica dos Agregados Reciclados.</li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem
<b>3.7. Produção Piloto do Material com Agregado Reciclado</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir um material de referência por aplicação estabelecida e produzi-lo com agregados naturais e nos traços ou composições definidas originalmente pela obra para que sirva de parâmetro na avaliação das misturas experimentais.</li> <li>• Definir percentuais de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados (Ex. 20%, 40%, 60%, 80% e 100%) e produzir materiais experimentais nos diversos percentuais estabelecidos.</li> <li>• Devem ser mantidas as mesmas condições de fabricação dos materiais de referência para os materiais experimentais.</li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem
<b>3.8. Avaliação do Desempenho do Material com Agregado Reciclado</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensaiar o material de referência e os experimentais conforme as normas técnicas aplicáveis a estes materiais.</li> <li>• Analisar comparativamente os resultados dos ensaios, consolidados no Anexo 4 – Avaliação Técnica do Material com Agregado Reciclado.</li> <li>• Definir o percentual de substituição que represente o maior aproveitamento dos agregados reciclados e a garantia das características e padrões de desempenho requeridos para o material em questão.</li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem



<b>LOGO</b>	<b>RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A</b>	Página X de X
-------------	--	---------------

<b>3.9. Aplicação do Material e Rastreabilidade</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzir o material com o percentual de substituição definido.</li> <li>• Controlar o processo de produção e a rastreabilidade da aplicação do material na obra, conforme Anexo 5 - Controle da Produção e Aplicação do Material com Agregado Reciclado.</li> </ul>	Equipe técnica da obra Responsável pelo processo de reciclagem
<b>3.10. Avaliação do Processo de Reciclagem</b>	
<b>ATIVIDADE</b>	<b>RESPONSABILIDADE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coletar e registrar as informações técnicas, econômicas e ambientais da reciclagem dos resíduos classe A no canteiro.</li> <li>• Realizar análise crítica e registrar a viabilidade da experiência de reciclagem no canteiro, conforme Anexo 6 - Avaliação Técnica, Econômica e Ambiental da Reciclagem no Canteiro.</li> </ul>	Responsável pelo processo de reciclagem

#### 4. ANEXOS

1. Planejamento da Reciclagem no Canteiro
2. Controle do Processo de Reciclagem
3. Avaliação Técnica dos Agregados Reciclados
4. Avaliação Técnica do Material com Agregado Reciclado
5. Controle da Produção e Aplicação do Material com Agregado Reciclado
6. Avaliação Técnica, Econômica e Ambiental da Reciclagem no Canteiro

#### 5. CONTROLE DE REGISTROS

Os registros da qualidade gerados pelas atividades deste procedimento são controlados da seguinte forma:

<b>Identificação</b>	<b>Coleta</b>	<b>Recuperação</b>	<b>Armazenamento</b>	<b>Tipo de arquivo e proteção</b>	<b>Tempo de Retenção</b>	<b>Disposição</b>
Planejamento da Reciclagem no Canteiro	Responsável pelo processo de reciclagem	Obra	Sala do Responsável pelo processo de reciclagem	Pasta	Pelo prazo de execução da obra	Lixo
Controle do Processo de Reciclagem	Responsável pelo processo de reciclagem	Obra	Sala do Responsável pelo processo de reciclagem	Pasta	Pelo prazo de execução da obra	Lixo
Avaliação Técnica dos Agregados Reciclados	Responsável pelo processo de reciclagem	Obra	Sala do Responsável pelo processo de reciclagem	Pasta	Pelo prazo de execução da obra	Lixo
Avaliação Técnica do Material com Agregado Reciclado	Responsável pelo processo de reciclagem	Obra	Sala do Responsável pelo processo de reciclagem	Pasta	5 anos	Lixo
Controle da Produção e Aplicação do Material com Agregado Reciclado	Equipe técnica	Obra	Sala do Responsável pelo processo de reciclagem	Pasta	5 anos	Lixo
Avaliação Técnica, Econômica e Ambiental da Reciclagem no Canteiro	Responsável pelo processo de reciclagem	Obra	Sala do Responsável pelo processo de reciclagem	Pasta	5 anos	Lixo



CONTROLE DO PROCESSO DE RECICLAGEM						
Obra:						
Responsável:						
Semana de: / / a / /						
PROGRAMAÇÃO SEMANAL						
TURNO	DIAS					OBSERVAÇÕES
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	
Matutino						
Vespertino						
Produção						
Data:					Responsável:	
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
Data:					Responsável:	
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
Data:					Responsável:	
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
Data:					Responsável:	
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		
Data:					Responsável:	
Resíduos (m³)	Tempo de produção (min)	Agregado Reciclado (volume) - (m³)			Ocorrências	Observações
		Miúdo	Graúdo	Graúdo		

**AValiação Técnica dos Agregados Reciclados**

Obra:

<b>Agregado Reciclado para uso em concreto sem função estrutural</b>				
<b>Agregado graúdo (brita reciclada)</b>				
<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>	<b>Limite normativo</b>	<b>Resultado (s)</b>	<b>Comentários</b>
NBR 15116:2004 (Anexo A)	Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)	ARC $\geq$ 90		
		ARM $<$ 90		
NBR NM 46:2003	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m (%)	ARC $\leq$ 10		
		ARM $\leq$ 10		
NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica	-		
NBR 9917:1987	Agregados para concretos - Determinação de sais, cloretos e e sulfatos solúveis (%)	cloretos = 1 sulfatos = 1		
NBR 15116:2004 (Anexo A)	Contaminantes - Materiais não minerais (%)	2		
-	Contaminantes - Teor total máximo de contaminantes (%)	3		
NBR 7218:1987	Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	2		
NBR NM 53:2003	Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água	ARC $\leq$ 7 absorção(%)		
		ARM $\leq$ 12 absorção(%)		
<b>Agregado miúdo (areia reciclada)</b>				
<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>	<b>Limite normativo</b>	<b>Resultado (s)</b>	<b>Comentários</b>
NBR NM 46:2003	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m (%)	ARC $\leq$ 15		
		ARM $\leq$ 20		
NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica	-		
NBR 9917:1987	Agregados para concretos - Determinação de sais, cloretos e e sulfatos solúveis (%)	cloretos = 1 sulfatos = 1		
NBR 15116:2004 (Anexo B)	Contaminantes - Materiais não minerais (%)	2		
-	Contaminantes - Teor total máximo de contaminantes (%)	3		
NBR 7218:1987	Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	2		
NBR NM 30:2001	Agregado miúdo - Determinação da absorção de água	ARC $\leq$ 12		
		ARM $\leq$ 17		
NBR NM 52:2003	Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente	-		
<i>A composição granulométrica do agregado reciclado deve estar de acordo com a ABNT NBR 7211:1983</i>				
<i>ARC - Agregado de resíduo de concreto</i>				
<i>ARM - Agregado de resíduo misto</i>				
<i>Relação de normas estabelecidas considerando agregados destinados ao preparo de concreto sem função estrutural (enchimentos, contrapiso, calçada e fabricação de artefatos não estruturais: blocos de vedação, meio-fio, sarjetas, canaletas, mourões e placas de muros), tendo como referência a NBR 15.116 (ABNT,2004).</i>				

<b>AVALIAÇÃO TÉCNICA DOS AGREGADOS RECICLADOS</b>				
Obra:				
<b>Agregado Reciclado para uso em obras de pavimentação viária</b>				
<b>REQUISITOS GERAIS</b>				
<b>Agregado graúdo (brita reciclada)</b>				
<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>	<b>Limite normativo</b>	<b>Resultado (s)</b>	<b>Comentários</b>
NBR 7181:1984	Solo - Análise granulométrica	$C_u > 10$		
	Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%		
NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica	$\leq 63$ mm		
NBR 7809:1983	Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro	$\leq 3$ mm		
NBR 15116:2004 (Anexo A)	Contaminantes - Materiais não minerais de mesmas características	2		
	Contaminantes - Materiais não minerais de características distintas	3		
NBR 9917:1987	Agregados para concretos - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis	2		
<b>Agregado miúdo (areia reciclada)</b>				
<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>	<b>Limite normativo</b>	<b>Resultado (s)</b>	<b>Comentários</b>
NBR 7181:1984	Solo - Análise granulométrica	$C_u > 10$		
	Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%		
NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica	$\leq 63$ mm		
NBR 15116:2004 (Anexo B)	Contaminantes - Materiais não minerais de mesmas características	2		
	Contaminantes - Materiais não minerais de características distintas	3		
NBR 9917:1987	Agregados para concretos - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis	2		
<b>REQUISITOS ESPECÍFICOS (NBR 9895:1987)</b>				
<b>Aplicação</b>		<b>ISC (CBR) %</b>	<b>Expansibilidade %</b>	<b>Energia de compactação</b>
Material para execução de reforço de subleito		$\geq 12$	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base		$\geq 20$	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento <sup>1</sup>		$\geq 60$	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada
<sup>1</sup> Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.				
Relação de normas estabelecidas considerando agregados destinados ao uso em obras de pavimentação viária (reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas), tendo como referência a NBR 15.116 (ABNT,2004).				

<b>AValiação Técnica do Material com Agregado Reciclado</b>
---

Obra:

Aplicação Selecionada:

Material com agregado natural				
<b>Mistura de referência:</b>				
Norma	Descrição	Limite normativo	Resultado	Observações
Material com agregado reciclado				
<b>Mistura experimental:</b>				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
<b>Mistura experimental:</b>				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
<b>Mistura experimental:</b>				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
<b>Mistura experimental:</b>				
Norma	Descrição	Resultado(s)	Limite normativo	Comentário
<b>Avaliação Final:</b>				

CONTROLE DA PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DO MATERIAL COM AGREGADO RECICLADO					
Obra:					
Produção				Rastreabilidade	
Data:			Data:		
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:			Data:		
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:			Data:		
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:			Data:		
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:			Data:		
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações
Data:			Data:		
Material	Unidade	Quantidade	Observações	Local de aplicação	Observações

AVALIAÇÃO TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA RECICLAGEM NO CANTEIRO									
Obra:									
Responsável:									
ANÁLISE TÉCNICA									
CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO CLASSE A									
MATERIAIS	Solo	Rocha	Concreto	Argamassa	Materiais Cerâmicos	Outros	GRÁFICO		
%									
AGREGADO RECICLADO: ( ) ARC ( ) ARM									
AVALIAÇÃO TÉCNICA: <i>resultado da avaliação técnica dos ensaios.</i>									
MATERIAIS PRODUZIDOS: <i>resultado da avaliação técnica dos ensaios.</i>									
QUANTITATIVO TOTAL DE MATERIAIS PRODUZIDOS COM AGREGADO RECICLADO:									
ANÁLISE FINANCEIRA COMPARATIVA DOS MATERIAIS (AGREGADO NATURAL X AGREGADO RECICLADO)									
CUSTO DE PRODUÇÃO (MATERIAL DE REFERÊNCIA): <i>levantar composição e o custo unitário do material selecionado utilizando o agregado natural.</i>									
CUSTO DE PRODUÇÃO (MATERIAL COM AGREGADO RECICLADO): <i>levantar composição e o custo unitário do material selecionado utilizando o agregado reciclado. Deve ser considerado para a composição do agregado, o custo para a produção do agregado reciclado (pessoal, depreciação do equipamento, energia...).</i>									
CUSTO ESTIMADO PARA DESTINAÇÃO DO RESÍDUO RECICLADO: <i>levantar o custo unitário para destinação do resíduo classe A.</i>									
Custo unitário do material de referência (R\$)	Custo unitário do material com agregado reciclado (R\$)	unidade	quantidade total	Custo total de produção do material de referência (R\$)	Custo total de produção do material com agregado reciclado (R\$)	Volume total de resíduo classe A reciclado (m <sup>3</sup> )	Custo unitário para destinação dos resíduos classe A (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo total para a destinação dos resíduos classe A (R\$)	Resultado econômico do processo de reciclagem no canteiro
0,00	0,00		0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
ANÁLISE AMBIENTAL DO PROCESSO DE RECICLAGEM NO CANTEIRO									
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO CLASSE A RECICLADO:									
VOLUME TOTAL DE AGREGADO RECICLADO UTILIZADO:									
<i>Comentário geral acerca da redução da destinação do resíduo classe para aterros, redução do consumo de agregado natural e outras considerações da empresa.</i>									
CONCLUSÕES									
<i>Comentários finais acerca dos impactos gerados pelo processo de reciclagem no canteiros, considerando os aspectos econômicos e ambientais consolidados, e da viabilidade desta prática no canteiro de obras.</i>									



## APÊNDICE I – Monitoramento do processo de reciclagem – Estudo de caso 3

Semana	Data	Volume total de resíduo (m3)	Tempo de Produção (min)	Tempo de Produção (h)	Agregado Reciclado (volume m3)				Produtividade (m3/hora)	Volume de agregado / Volume de resíduo
					Miúdo	Intermediário	Graudo	Volume total de agregado reciclado (m3)		
Semana 1	11/8/2009	2,5	140	2,3	0,714	0,580	1,008	2,302	1,07	0,92
	13/8/2009	4,5	240	4,0	1,260	1,260	1,680	4,2	1,13	0,93
	14/8/2009	6	360	6,0	1,512	1,344	2,646	5,502	1,00	0,92
	<b>Semana 1</b>	<b>13</b>		<b>12,3</b>				<b>12,004</b>	<b>1,05</b>	<b>0,92</b>
Semana 2	17/8/2009	2	120	2,0	0,630	0,504	0,882	2,016	1,00	1,01
	18/8/2009	2	110	1,8	0,740	0,420	1,050	2,21	1,09	1,11
	20/8/2009	4	194	3,2	0,840	0,630	1,680	3,15	1,24	0,79
	21/8/2009	4	192	3,2	1,008	1,050	1,848	3,906	1,25	0,98
	<b>Semana 2</b>	<b>12</b>		<b>10,3</b>				<b>11,282</b>	<b>1,17</b>	<b>0,94</b>
Semana 3	24/8/2009	4	200	3,3	1,260	1,210	1,890	4,36	1,20	1,09
	25/8/2009	4	145	2,4	1,218	1,092	1,848	4,158	1,66	1,04
	27/8/2009	4	186	3,1	1,218	1,092	1,974	4,284	1,29	1,07
	28/8/2009	4	195	3,3	1,029	0,819	1,869	3,717	1,23	0,93
	29/8/2009	2	150	2,5	0,546	0,420	0,924	1,89	0,80	0,95
	<b>Semana 3</b>	<b>18</b>		<b>14,6</b>				<b>18,409</b>	<b>1,23</b>	<b>1,02</b>
Semana 4	31/8/2009	2	117	2,0	0,504	0,336	0,924	1,764	1,03	0,88
	1/9/2009	2	113	1,9	0,630	0,378	1,050	2,058	1,06	1,03
	2/9/2009	2	72	1,2	0,546	0,378	1,050	1,974	1,67	0,99
	3/9/2009	2	86	1,4	0,456	0,357	0,903	1,716	1,40	0,86
	3/9/2009	2	105	1,8	0,504	0,378	0,924	1,806	1,14	0,90
	4/9/2009	2	78	1,3	0,546	0,252	0,945	1,743	1,54	0,87
	5/9/2009	2	68	1,1	0,567	0,420	0,945	1,332	1,76	0,97
	<b>Semana 4</b>	<b>14</b>		<b>10,7</b>				<b>12,993</b>	<b>1,31</b>	<b>0,93</b>
	<b>MENSAL</b>	<b>57</b>						<b>54,688</b>	<b>1,19</b>	<b>0,95</b>
Semana 5	11/9/2009	2	82	1,4	0,378	0,450	0,954	1,782	1,46	0,89
	11/9/2009	2	105	1,8	0,430	0,492	0,966	1,888	1,14	0,94
	11/9/2009	2	84	1,4	0,378	0,420	0,882	1,68	1,43	0,84
	12/9/2009	2	60	1,0	0,399	0,440	0,882	1,721	2,00	0,86
	13/9/2009	2	62	1,0	0,357	0,441	0,882	1,68	1,94	0,84
	<b>Semana 5</b>	<b>10</b>		<b>6,6</b>				<b>8,751</b>	<b>1,53</b>	<b>0,88</b>
Semana 6	14/9/2009	2	57	1,0	0,336	0,420	0,882	1,638		0,82
	14/9/2009	2	69	1,2	0,378	0,420	0,819	1,617	1,74	0,81
	14/9/2009	2	60	1,0	0,399		0,903	1,785	2,00	0,89
	15/9/2009	2	74	1,2	0,315	0,441	0,861	1,617	1,62	0,81
	15/9/2009	2	70	1,2	0,294	0,420	0,966	1,68	1,71	0,84
	16/9/2009	2	85	1,4	0,336	0,420	0,882	1,638	1,41	0,82
	16/9/2009	2	88	1,5	0,336	0,462	0,882	1,68	1,36	0,84
	17/9/2009	2	85	1,4	0,294	0,378	0,924	1,596	1,41	0,80
	17/9/2009	2	85	1,4	0,336	0,780	0,882	1,998	1,41	1,00
	18/9/2009	2	95	1,6	0,210	0,336	1,008	1,564	1,26	0,78
	18/9/2009	2	95	1,6	0,294	0,420	0,882	1,596	1,26	0,80
	19/9/2009	2	75	1,3	0,504	0,378	0,798	1,68	1,60	0,84
	<b>Semana 6</b>	<b>24</b>		<b>15,6</b>				<b>20,079</b>	<b>1,54</b>	<b>0,84</b>
Semana 7	21/9/2009	2	65	1,1	0,378	0,420	1,008	1,806	1,85	0,90
	21/9/2009	2	77	1,3	0,336	0,420	0,924	1,68	1,56	0,84
	21/9/2009	2	55	0,9	0,338	0,378	0,924	1,6398	2,18	0,82
	22/9/2009	2	56	0,9	0,336	0,420	0,882	1,638	2,14	0,82
	22/9/2009	2	74	1,2	0,336	0,378	0,924	1,638	1,62	0,82
	22/9/2009	2	67	1,1	0,336	0,378	0,882	1,596	1,79	0,80
	23/9/2009	2	55	0,9	0,294	0,338	0,798	1,4298	2,18	0,71
	23/9/2009	2	58	1,0	0,378	0,378	0,882	1,638	2,07	0,82
	23/9/2009	2	50	0,8	0,294	0,294	0,840	1,428	2,40	0,71
	24/9/2009	2	60	1,0	0,294	0,336	0,840	1,47	2,00	0,74
	24/9/2009	2	60	1,0	0,378	0,378	0,966	1,722	2,00	0,86
	24/9/2009	2	60	1,0	0,378	0,378	0,924	1,68	2,00	0,84
	25/9/2009	2	65	1,1	0,378	0,378	0,924	1,68	1,85	0,84
	26/9/2009	2	70	1,2	0,378	0,378	0,966	1,722	1,71	0,86
	26/9/2009	2	52	0,9	0,378	0,378	0,966	1,722	2,31	0,86
	26/9/2009	2	85	1,4	0,420	0,420	0,924	1,764	1,41	0,88
	<b>Semana 7</b>	<b>32</b>		<b>16,8</b>				<b>26,2536</b>	<b>1,90</b>	<b>0,82</b>
Semana 8	28/9/2009	2	50	0,8	0,336	0,378	0,924	1,638	2,40	0,82
	28/9/2009	2	47	0,8	0,294	0,336	1,008	1,638	2,55	0,82
	28/9/2009	2	38	0,6	0,336	0,378	0,882	1,596	3,16	0,80
	29/9/2009	2	55	0,9	0,336	0,378	0,924	1,638	2,18	0,82
	29/9/2009	2	67	1,1	0,378	0,378	0,882	1,638	1,79	0,82
	29/9/2009	2	58	1,0	0,420	0,378	0,882	1,68	2,07	0,84
	30/9/2009	2	55	0,9	0,420	0,378	0,924	1,722	2,18	0,86
	30/9/2009	2	53	0,9	0,336	0,420	0,840	1,596	2,26	0,80
	30/9/2009	2	67	1,1	0,336	0,378		1,638	1,79	0,82
	1/10/2009	2	57	1,0	0,294	0,378	1,008	1,68	2,11	0,84
	1/10/2009	2	57	1,0	0,294	0,336	0,924	1,554	2,11	0,78
	1/10/2009	2	55	0,9	0,336	0,420	0,240	0,996	2,18	0,50
	1/10/2009	2	65	1,1	0,378	0,336	1,050	1,764	1,85	0,88
	2/10/2009	2	56	0,9	0,378	0,378	1,050	1,806	2,14	0,90
	3/10/2009	2	63	1,1	0,294	0,378	0,966	1,638	1,90	0,82
	<b>Semana 8</b>	<b>30</b>		<b>14,1</b>				<b>24,222</b>	<b>2,14</b>	<b>0,81</b>
	<b>MENSAL</b>	<b>96</b>						<b>79,3056</b>	<b>1,78</b>	<b>0,84</b>