

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE SÃO PAULO

LUIZ FELIPE DE ALMEIDA SCATAMBURLO

A GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E O APROVEITAMENTO
DOS RESÍDUOS CLASSE A NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA PARA
REVESTIMENTO

São Paulo

2014

LUIZ FELIPE DE ALMEIDA SCATAMBURLO

A GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E O APROVEITAMENTO
DOS RESÍDUOS CLASSE A NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA PARA
REVESTIMENTO

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de especialista em
Tecnologia e Gestão na Produção de
Edifícios.

Orientador: Prof. M. Alexandre Amado
Britez

São Paulo

2014

Aos meus pais que sempre me apoiaram na
busca dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Mestre Alexandre Amado Britez, minha gratidão, por ter sido orientador presente e amigo que, com diretrizes seguras, muita paciência, constante acompanhamento e incentivo, me aceitou com todas as minhas restrições.

À Construtora Cyrela pelo apoio irrestrito a este trabalho.

À minha família, pelo apoio constante.

Aos meus colegas de sala, pela companhia nesses anos de estudos e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

“A mente humana é um grande teatro. Seu lugar não é na platéia, mas no palco, brilhando na sua inteligência, alegrando-se com suas vitórias, aprendendo com as suas derrotas e treinando para ser a cada dia, autor da sua história, líder de si mesmo” (Augusto Cury).

RESUMO

A construção civil é uma atividade representativa na economia dos países, porém, em função da elevada geração de resíduos que ela promove, deve haver uma gestão destes de tal forma que se consiga amenizar os impactos ao meio ambiente e ao mesmo tempo obter um melhor custo benefício. Um dos instrumentos utilizados para se chegar a tal objetivo é a reciclagem dos resíduos e o aproveitamento do agregado reciclado. A revisão bibliográfica propiciou a base para a contextualização do tema estudado, sendo abrangente na questão da caracterização dos resíduos, das normalizações e regulamentações e, por fim, fechando o ciclo, a reciclagem deste resíduo, transformando-o em produto. A pesquisa de campo consistiu na implantação de uma mini usina de reciclagem de resíduo classe A, para a produção de agregado reciclado e na sequencia seu aproveitamento no próprio canteiro para a produção de argamassa para revestimento. São apresentadas as principais vantagens do aproveitamento do resíduo no próprio canteiro, do ponto de vista técnico e econômico.

Palavras-chave: Resíduos da construção civil; Gestão dos RCC; Resolução nº307/2002 do CONAMA; Aproveitamento dos resíduos Classe A; Argamassa de revestimento.

ABSTRACT

The building is a representative activity in the countries economy, however, due to the high generation of waste that it promotes, there must be managed so that these are able to mitigate the impacts to the environment and at the same time get a better cost benefit. One of the instruments used to reach this goal is through waste recycling and use of recycled aggregate. The literature review provided the basis for the contextualization of the study, with the issue of comprehensive waste characterization, the commonalities and regulations and finally, closing the loop, the recycling of this waste, turning it into a product. The fieldwork consisted of implantation a mini recycling plant residue class A, for the production of recycled aggregate and sequence their use in building site for the production of mortar coating. Analyzes the main advantages of the use of waste in construction, from a technical and economic perspective itself.

Keywords: Construction waste; Management of CCW; Resolution n°. 307/2002 of CONAMA; Class A waste use; Mass coating.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Triagem da fração mineral em ATT privada.	28
Fotografia 2: Central de reciclagem em ATT privada.....	29
Fotografia 3: Moinho de martelo.....	47
Fotografia 4: Geração de resíduo na descarga de material.....	54
Fotografia 5: Estocagem de cerâmica.....	55
Fotografia 6: Chapeira localizada nas cremalheiras.....	56
Fotografia 7: Geração de resíduo no local de trabalho.....	57
Fotografia 8: Sobras de recorte de cerâmica.	57
Fotografia 9: Equipamento da CONSTRUECO AMBIENTAL.....	62
Fotografia 10: Agregado reciclado estocado.....	63
Fotografia 11: Central de reciclagem instalada na obra.....	65
Fotografia 12: Bocal da esteira.....	65
Fotografia 13: Detalhe da esteira.....	66
Fotografia 14: Revestimento executado com agregado reciclado.....	66
Fotografia 15: Detalhe do agregado reciclado.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos RCC pela Resolução nº 307 - CONAMA.	13
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice de perdas de alguns materiais na indústria da construção (%).	20
Tabela 2: Estimativa de geração de resíduos em outros países.	22
Tabela 3: Características gerais das instalações de reciclagem brasileiras.	40
Tabela 4: Variabilidade dos agregados reciclados encontrada por pesquisadores.	43
Tabela 5: Limites de resistência de aderência à tração para argamassas de revestimento.	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição.	24
Figura 2: Britador de Impacto.	46
Figura 3: Britador de Mandíbula.	47
Figura 4: Moinho de martelo.	48
Figura 5: Cone de britagem.	48
Figura 6: Perda de aderência por descontinuidade da argamassa.	51
Figura 7: Detalhe da fachada do empreendimento.	53
Figura 8: Projeto de Gerenciamento de resíduo.	58
Figura 9: Exemplo de uma CTR.	59
Figura 10: Traço de argamassa de revestimento com agregado natural.	61
Figura 11: Traço de argamassa de revestimento com agregado reciclado.	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resíduos removidos dos Ecopontos.....	30
Gráfico 2: Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas ao longo dos anos no país....	40

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil
AMLURB	Autoridade Municipal de Limpeza Urbana
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Controle de Transporte de Resíduos
DAIA	Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental
LIMPURB	Departamento de Limpeza Urbana
NBR	Norma Brasileira
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SINDUSCON	Sindicato da Construção Civil
SIERESP	Sindicato das Empresas Removedoras de Entulho do Estado de São Paulo
USP	Universidade São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. A QUESTÃO DOS RCC NA ATIVIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.1 GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.1.1 RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RCC	18
2.1.3 GERAÇÃO DOS RCC	19
2.1.4 IMPACTOS DOS RCC NO MEIO AMBIENTE	23
2.1.5 GESTÃO CORRETIVA.....	25
2.1.6 GESTÃO DIFERENCIADA.....	26
2.1.7 CONTAMINAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
2.2 NORMALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO	31
2.3 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	37
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO RECICLADO	41
2.3.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO AGREGADO RECICLADO	43
2.3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO BENEFICIAMENTO	45
2.4 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO.....	49
2.4.1 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	50
3. ESTUDO DE CASO	53
3.1 PROCEDIMENTOS INTERNOS.....	54
3.2 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS CLASSE A E SEU APROVEITAMENTO.....	60

4. DIRETRIZES PARA O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A, RECICLADOS EM CANTEIRO, PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	68
5. CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	72
ANEXO A.....	77

1 INTRODUÇÃO

Resíduo da construção civil (RCC) é todo resíduo proveniente de atividades da construção civil como construções, reformas e demolições. Dentre esses resíduos estão telhas, blocos avariados, concreto, restos de argamassa, gesso, aparas cerâmicas, sobras de tubo, embalagens e tintas. Os RCC apresentam-se de forma bastante heterogênea, devido à variabilidade das etapas em que ocorrem, a diversidade dos materiais usados e, também, em grande volume. De acordo com Careli (2014), os resíduos são equivocadamente denominados de entulho, sendo este um termo genérico, impreciso e depreciativo.

No ano de 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a Resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002) que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais e deixando a cargo do poder público municipal a implantação dos planos integrados de gestão.

Esta Resolução classifica os RCC em quatro grandes grupos, como indica o Quadro 1. Além disso, ela sofreu algumas alterações com o passar dos anos, a exemplo da revisão feita em 2012, mais precisamente em 19 de janeiro, através da Resolução nº 448. Essas alterações serão tratadas no item Normalização e Regulamentações.

Tal Resolução significou um marco na questão da tratativa da gestão dos resíduos, definindo procedimentos sustentáveis, considerando a redução dos impactos ambientais, a disposição dos resíduos em locais adequados e a sua reciclagem.

Na busca por este desenvolvimento sustentável, este trabalho irá abordar a questão dos resíduos a partir de um modelo de ciclo fechado, apresentando um estudo sobre a gestão dos Resíduos da Construção Civil e o aproveitamento dos resíduos classe A, por meio de processo de reciclagem feito no próprio canteiro, para a produção de argamassa de revestimento.

Quadro 1: Classificação dos RCC pela Resolução nº 307 - CONAMA.

CLASSE	ORIGEM	EXEMPLOS DE RESÍDUOS
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	Tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto.
Classe B	Resíduos recicláveis com outras destinações.	Gesso, plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
Classe C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Lã de vidro.
Classe D	Resíduos perigosos, oriundos do processo de construção.	Tintas, solventes, óleos, amianto e outros.
	Resíduos contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.	Clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: adaptado de BRASIL (2002, p. 572).

1.1 OBJETIVO

Apresentar diretrizes para o aproveitamento de resíduos classe A na produção de argamassas de revestimento em canteiro de obras.

1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é uma atividade importante para a economia nacional, gerando milhares de empregos diretos e indiretos. Porém, é a principal consumidora de matérias primas e energia, uma das maiores geradoras de resíduo, e também colabora significativamente para a poluição ambiental. Ela promove grandes impactos ambientais em função do grande consumo de matéria-prima e principalmente da elevada geração de resíduos.

Os RCC correspondem a cerca de 41 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos e estima-se que a geração per capita dos RCC no Brasil varie de 230-760 kg/hab. ano, segundo Pinto (1999). Esse valor varia em função da qualidade da mão de obra utilizada, das técnicas construtivas empregadas e por fim, da renda disponível.

Esse alto valor de geração de RCC pode implicar em inúmeros impactos ambientais caso não seja feita uma gestão adequada. Segundo Valença, Wanderley e Melo (2006), nos centros urbanos ocorrem grandes impactos ambientais devido à má gestão desses resíduos e consequente disposição irregular, tais como obstrução de corpos de drenagem, assoreamento de rios, atração de vetores e degradação da paisagem urbana. Nota-se que a disposição irregular dos RCC gera impactos na área social, através da degradação da paisagem urbana e na área da saúde a partir da atração de vetores.

A disposição irregular desses resíduos gera, além do impacto ambiental, um alto custo às administrações municipais. Para o exercício do ano de 2014, a Prefeitura de São Paulo dispõe de um orçamento de 50,6 bilhões que foi aprovado pela Câmara Municipal em 18 de Dezembro de 2013 (São Paulo, 2014). Deste montante, cerca de 2 bilhões serão despendidos no decorrer do ano de 2014 para a gestão dos resíduos sólidos de acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS, 2014). Ainda de acordo com PGIRS (2014), deste valor, 87 milhões serão gastos com o manejo dos RCC, o que equivale a 4% do orçamento previsto. Com isso, é possível verificar a dimensão dos gastos para com os RCC. E o aumento da geração desses resíduos vem agravando os problemas de coleta, transporte e disposição final.

Na cidade de São Paulo, é proibida a disposição dos RCC em locais públicos. Porém, permite-se que cada imóvel gerador encaminhe o máximo de 50 kg desses resíduos

por dia para serem recolhidos pela Prefeitura através da coleta domiciliar convencional, desde que os resíduos estejam devidamente acondicionados (SÃO PAULO, 2014). Outra opção é encaminhar estes resíduos para os Ecopontos, unidades para o descarte gratuito diário de até 1m³ de RCC, podas de árvores e grandes objetos. Esses Ecopontos estão localizados em diversas áreas da cidade de São Paulo, sendo atualmente setenta e sete unidades (SÃO PAULO, 2014).

No entanto, para quantidades superiores a 50 kg, o gerador é o responsável pela remoção e pela destinação do resíduo. Quando isso ocorre, é necessária a contratação do serviço de empresas cadastradas pela Prefeitura, sendo atualmente 544 empresas regularizadas (SÃO PAULO, 2014) para a remoção e destinação destes resíduos.

Para Chen e Chambers (1999 *apud* JOHN, 2000), a melhoria e ampliação do ambiente construído com o emprego de um volume proporcionalmente inferior de recursos naturais é certamente o maior desafio da construção civil. Ainda segundo eles, este desafio é maior nos países não desenvolvidos, onde é necessário construir uma quantidade maior de bens.

Portanto, há um mercado potencial por trás de uma adequada gestão dos resíduos, que vai da economia em matéria-prima, aos ganhos gerados pelo transporte e destinação no caso da reciclagem feita no próprio canteiro.

Sendo assim, são importantes estudos que possam contribuir para a gestão dos RCC, principalmente na questão da reciclagem e do aproveitamento destes resíduos.

1.3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido a partir de uma ampla revisão bibliográfica nacional e pesquisa de campo.

A revisão bibliográfica abrangeu a gestão dos RCC como um modelo de ciclo fechado, através da geração, reciclagem e aproveitamento do resíduo. As bases desta revisão foram teses, artigos e instrumentos normativos e jurídicos. Foram analisadas as características dos RCC relacionados a tipo e também, a origem e volume. Identificou-se e analisaram-se as políticas de gestão dos RCC, bem como as políticas públicas, normas e especificações técnicas. Além disso, foi analisada a questão da reciclagem dos resíduos classe A e o seu aproveitamento na produção de argamassa para revestimento. Toda esta linha de pesquisa contribuirá para a redução da geração/destinação dos resíduos da construção civil, o que acarretará na economia de matéria prima e também na redução dos impactos ambientais e econômicos causados pelos RCC.

A pesquisa de campo foi feita em um canteiro de obra, de modo a analisar o aproveitamento dos resíduos classe A, com sua reciclagem feita no próprio canteiro. Verificaram-se os ganhos econômicos gerados e os riscos envolvidos no processo. Por fim, foi feito ensaio normalizado a fim de avaliar o revestimento executado, cujo traço continha agregado reciclado. Os resultados mostraram que é viável esta reciclagem e o aproveitamento feito no próprio canteiro, existindo ainda alguns pontos que devem ser acertados como o fornecimento do equipamento.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco seções.

A seção 1 apresenta a Introdução, que é composta pelos seguintes itens: Conceituação e caracterização do tema; Objetivos; Justificativa; e Metodologia.

A seção 2 retrata os resíduos da construção civil e seus impactos. Apresenta uma revisão bibliográfica sobre a gestão dos RCC, as principais políticas e normalizações existentes, a reciclagem do resíduo e, por fim, seu aproveitamento na produção de argamassa de revestimento.

A seção 3 compreende o estudo de campo realizado em um canteiro de obra de maneira a analisar a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos classe A executados no próprio canteiro.

A seção 4 apresenta uma metodologia para a implantação da reciclagem de resíduos classe A e seu aproveitamento na produção de argamassa.

A seção 5 apresenta as conclusões do trabalho e indica algumas sugestões para pesquisas futuras.

2. A QUESTÃO DOS RCC NA ATIVIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil, também conhecida como *Construbusiness*, de acordo com John (2001), apesar de ser um dos pilares da economia do Brasil, apresenta significativos impactos ambientais nas etapas de seu processo compreendido por: extração de matérias primas, produção de materiais, construção, uso e demolição. Dentre os impactos causados está o volume de resíduo gerado. Para John (2001), a indústria da construção é responsável por cerca de 40% dos resíduos gerados na economia. Portanto, deve haver uma gestão destes de forma que se consiga amenizar tal impacto e ao mesmo tempo obter um melhor custo benefício com a redução do consumo de materiais. Uma das saídas para os resíduos é a reciclagem e o seu aproveitamento. A seguir será apresentado um estudo sobre os resíduos da construção civil seguido das suas normalizações e regulamentações, exemplos de gestão dos resíduos da construção civil, a reciclagem dos resíduos classe A e o aproveitamento na produção de argamassa para revestimento.

2.1 GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1.1 RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O resíduo da construção civil apresenta características bastante heterogêneas. Há 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.

Segundo Carneiro *et al.* (2001), entre os diversos fatores que interferem na quantidade, composição e características desse resíduo, destacam-se:

- a) Nível de desenvolvimento da indústria da construção local;
- b) Qualidade e treinamento da mão de obra disponível;
- c) Técnicas de construção e demolição empregadas;
- d) Adoção de programas de qualidade e redução de perdas;
- e) Adoção de processos de reciclagem e reutilização no canteiro;
- f) Tipos de materiais predominantes e/ou disponíveis na região;
- g) Desenvolvimento econômico da região;
- h) Demanda por novas construções.

Assim, as características do resíduo estão condicionadas a parâmetros específicos da região geradora do resíduo e à variação ao longo do tempo. Em países

desenvolvidos, por exemplo, geram-se grandes quantidades de papel e plástico, advindos das embalagens dos materiais. Já nos países em desenvolvimento, geram-se grandes quantidades de resíduos de concreto, argamassa, blocos, entre outros, devido às altas perdas do processo (CARNEIRO *et. al.*, 2001).

Além da questão regional, de acordo com Carneiro *et al.*(2001), as diferenças na composição do resíduo podem estar relacionadas ao período, à técnica de amostragem e também ao local de coleta, podendo ser o canteiro de obra ou a área de disposição final.

Em relação ao canteiro, para uma amostragem, pode-se ter variação em relação ao tipo de obra: residencial, comercial, baixa renda ou alto padrão. A seguir será tratada a questão da classificação dos resíduos.

2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RCC

Conforme já indicado neste trabalho, a Resolução 307/2002 do CONAMA classifica os resíduos da construção civil em quatro classes denominadas A, B, C e D. No entanto, existem outras classificações para os resíduos, podendo ser quanto à origem ou ao momento de incidência. Através destas classificações específicas, podem ser criadas ações com o intuito de reduzir a geração de resíduo. Elas permitem mapear as fases nas quais mais ocorrem a geração para que, posteriormente, sejam tomadas medidas como o desenvolvimento de novas técnicas e o treinamento da mão de obra.

Um exemplo deste tipo de classificação é a desenvolvida por Andrade (1999 *apud* Souza *et al.*, 2004), na qual o resíduo da construção civil pode ser classificado segundo quatro critérios: (a) forma de manifestação; (b) momento de incidência na etapa de produção; (c) suas causas; e (d) sua origem:

- a) Forma de manifestação: indica a forma como ocorreu. Na obra podem ser observados os seguintes exemplos: sobras de aço, massa endurecida no chão após o reboco de uma parede, embalagens rasgadas, cimento e gesso empedrado;
- b) Momento de incidência na etapa de produção: durante a movimentação de materiais no canteiro de obras, eles passam por diversas fases até chegar ao destino final, como recebimento, estocagem, processamento e utilização. No decorrer dessas etapas, torna-se passível o surgimento de resíduo;
- c) Causas: para uma manifestação, pode haver diversas causas. Por exemplo, a presença de blocos quebrados no canteiro de obra, que pode ter como causa desde o transporte inadequado como o desmoronamento de um estoque por algum motivo, tal qual um choque;

- d) Origem: deve ser estudada a origem da geração do resíduo. Por exemplo, a geração de resíduo de blocos por corte pode ocorrer por dimensões incompatíveis entre as dimensões das paredes e dos blocos, problema este ligado à etapa de projeto, ou à não utilização de ferramentas adequadas.

No Brasil há uma Norma que classifica os resíduos sólidos, a NBR 10004 (Resíduos Sólidos – Classificação), segundo a qual os resíduos de construção e demolição são predominantemente classificados como II-B (inertes). Isto se deve ao fato deste resíduo possuir componentes minerais não poluentes e ser praticamente inerte quimicamente. Entretanto, de acordo com Leite (2001) os resíduos de construção e demolição consistem em materiais pesados e de grande volume, que quando depositados indiscriminadamente são verdadeiros focos para depósitos de outros tipos de resíduos, que podem gerar contaminações devido à lixiviação ou solubilização de certas substâncias nocivas.

Ou seja, dependendo da situação a qual tiver sido exposto, o resíduo poderá ser classificado como perigoso, não inerte ou inerte segundo a NBR 10004. A seguir serão expostas as questões da geração dos RCC, através de dados obtidos na pesquisa bibliográfica. Dentre os autores que se destacam nesta linha de pesquisa estão Tarcísio de Paula Pinto e Leonardo Fagundes Rosembach Miranda.

2.1.3 GERAÇÃO DOS RCC

A preocupação com o resíduo é relativamente recente no Brasil se comparado com outros países. De acordo com John e Agopyan ([ca. 2000]), os EUA já possuíam no final da década de 1960 uma política para resíduos, chamada de *Resource Conservation and Recovering Act*.

Esta atual preocupação com os resíduos segundo Rocha e Cheriaf (2007) está relacionada à similaridade da composição química dos resíduos em relação aos insumos básicos da construção civil.

Com a intensificação do processo de urbanização, a quantidade de resíduos gerados pelas obras de construção é cada vez maior, seja pelas demolições decorrentes do processo de renovação urbana ou por novas edificações. Estimativas apontam para uma produção mundial entre 2 e 3 bilhões de toneladas/ano conforme informado por Lauritzen (1994 *apud* CARNEIRO *et al.*, 2001).

De acordo com Carneiro *et al.* (2001) o crescimento populacional constitui um fator importante nessa geração, visto que contribui para o aumento da produção desses

resíduos. Além disso, o déficit habitacional pressiona a sociedade a expandir o número de habitações nos próximos anos, o que colabora também para o aumento da geração de entulho.

Ainda segundo esse autor, nas atividades de construção, o alto índice de perdas e a ausência de procedimentos de reutilização e reciclagem colaboram nesse aumento. Entretanto, nem toda a perda se transforma, efetivamente, em resíduo; uma parte fica incorporada na própria obra.

Na Tabela 1, Carneiro *et al.*(2001) resumem os números apresentados por outros pesquisadores referentes às perdas. O valor indicado da perda de aço não está condizente com os valores atuais. O motivo desta discrepância talvez seja pelo fato de a grande maioria das obras solicitarem o aço cortado e dobrado, conforme especificações de projeto, reduzindo significativamente as perdas. Elas ocorrem apenas caso haja pedido em duplicidade ou então, o material sofra algum dano por questões de má estocagem. Além disso, o valor da perda de cal apresentado por Pinto está bem elevado, o que talvez seja em função da localidade ou data na qual a pesquisa foi realizada.

Tabela 1: Índice de perdas de alguns materiais na indústria da construção (%).

MATERIAIS (%)	PESQUISADORES		
	SOUZA ¹	PINTO ²	SOILBELMAN ³
Areia	44	39	44
Cimento	56	33	83
Cal	36	102	-
Concreto	9	1	13
Aço	11	26	19
Blocos e Tijolos	13	13	52

Fonte: (CARNEIRO *et al.*,2001, pg. 146)

(1) – SOUZA, 1998, citado por PINTO, 1999 (mediana de diversas obras – Brasil)

(2) – PINTO, 1989 (valores de uma obra – São Carlos)

(3) – SOILBELMAN, 1993 citado por PINTO, 1999 (média de 5 obras – Porto Alegre)

Dentre os vários fatores que contribuem para a geração do entulho, vale citar (Cassa *et al.*, 2001):

- a) Definição e detalhamento insuficientes, em projetos de arquitetura, estrutura, fôrmas, instalações, entre outros;

- b) Qualidade inferior dos materiais e componentes de construção disponíveis no mercado;
- c) Mão de obra não qualificada;
- d) Ausência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle de execução.

De acordo com Lima e Tamai (1998 *apud* CASSA *et al.*, 2001), a maior parte desse resíduo é gerado pelo setor informal da construção (pequenas reformas, autoconstrução, ampliações). Estima-se que apenas um terço do entulho seja gerado pelo setor formal, ou seja, pela indústria da construção civil.

Segundo John (2000), as diferenças na participação de cada fonte refletem a importância relativa das atividades de construção, manutenção e demolições em cada economia e também da taxa de perda de materiais em ambas as atividades de construção.

Para Lauritzen (1998 *apud* JOHN, 2000), o valor da geração de resíduo depende, além da intensidade da atividade de construção em cada país, da tecnologia empregada e das taxas de desperdícios e ainda informa que este volume pode crescer significativamente em função de desastres naturais ou guerra. Atualmente o Brasil não está sujeito a tais acontecimentos.

Na Europa, a estimativa média de geração de RCC varia de 600 a 918 kg/hab.ano de acordo com Lauritzen (1998 *apud* JOHN, 2000) enquanto que a geração de resíduo sólido gira em torno de 390 kg/hab.ano. Já no Brasil, Pinto (1999) indica uma geração de 230 a 760 kg/hab.ano, representando algo entre 41 a 70% do resíduo sólido municipal.

Uma exceção parece ser os Estados Unidos, no qual, de acordo com informações da EPA (1996 *apud* JOHN, 2000), a geração estimada de resíduo de construção é inferior à do resíduo municipal: 463kg/hab.ano contra 720 kg/hab.ano. Para Hendrickson e Harvoath (2000 *apud* JOHN, 2000), esta disparidade da taxa de geração de resíduos per capita na economia norte americana pode ser atribuída a uma menor geração de resíduos nas atividades de construção, ou mesmo ao menor peso da construção civil na economia do país.

Na sequência, a Tabela 2 de John (2000) mostra as estimativas de geração de resíduos de outros países apresentado por diversos pesquisadores.

Tabela 2: Estimativa de geração de resíduos em outros países.

País	Quantidade Anual		Fonte
	Mt/ano	Kg/hab.	
Suécia	1,2 - 6	136 - 680	Tolstoy, Borklund e Carlson (1998); John (1999)
Holanda	12,8 - 20,2	820 - 1300	Lauritzen (1998); Brossink, Brouwers e Van Kessel (1996); John (1999)
EUA	136 - 171	463 - 584	EPA (1998); Peng, Grosskopf, Kibert (1994)
UK	50 - 70	880 - 1120	Detr (1998); Lauritzen (1998)
Bélgica	7,5 - 34,7	735 - 3359	Lauritzen (1998); John (1999)
Dinamarca	2,3 - 10,7	440 - 2010	
Itália	35 - 40	600 - 690	
Alemanha	79 - 300	963 - 3658	
Japão	99	785	Kasai (1998)
Portugal	3,2	325	John (1999)
Brasil	na	230 - 760	Pinto (1999)

Fonte: adaptada John (2000, pg. 18).

Careli (2014) indica que obras de estrutura de concreto armado, associadas a vedações em alvenaria com blocos de concreto ou cerâmicos, geram entre 0,10 e 0,15 m³ de RCC/m² de área construída. De acordo com o autor, 50% desse volume referem-se à alvenaria, concreto, argamassas e cerâmicos, 30% à madeira, 10% ao gesso, 7% ao papel, plástico e metais, e 3% são constituídos de resíduos perigosos e outros resíduos não recicláveis.

Já o PGIRS da cidade de São Paulo (2014) indica que resíduos classes A e B representam em torno de 80% e 18%, respectivamente, enquanto os resíduos classe C e D correspondem aos 2% restantes.

Pinto (1999) indica uma taxa de geração de RCC na ordem de 150 kg/m² construído. De acordo com Peng *et al.* (1997 *apud* LEITE, 2001), nos Estados Unidos são gerados de 20 a 30 kg/m² construído de resíduos, nos mais variados tipos de atividades existentes ligadas à construção.

Esta diferença pode estar relacionada às diferenças dos métodos construtivos adotados e também dos materiais utilizados. Grande parte das residências americanas é pré-fabricada em madeira e não recebe nenhum revestimento externo e interno (áreas frias) além da pintura.

Para concluir, é importante dizer que os resíduos gerados na produção dos materiais de construção, como, por exemplo, cacos de blocos cerâmicos das olarias e pó de pedra da britagem de agregados, não são considerados como entulho e sim como resíduos industriais de setores específicos, de acordo com Carneiro *et al.* (2001). Caso fossem, o número referente à geração de RCC aumentaria consideravelmente. A seguir será tratada a questão dos impactos causados por essa elevada geração de RCC.

2.1.4 IMPACTOS DOS RCC NO MEIO AMBIENTE

Do ponto de vista ambiental, o principal impacto causado pelos resíduos está em sua disposição irregular. Este é um problema comum e recorrente em muitas das cidades brasileiras e tem como causa diversos fatores, dentre eles: alta geração dos RCC e dificuldades de disposição sejam pela distância ou pelo custo.

Um dos maiores problemas enfrentados pelos municípios é a grande quantidade de pontos clandestinos de descarga de entulho. Estes pontos estão espalhados pela cidade, devido à dispersão geográfica e temporal da geração do resíduo pelo setor.

De acordo com o Plano Integrado de Resíduos Sólidos (2014), a cidade de São Paulo possui cerca de 4.500 pontos viciados de descarte de RCC.

Das diversas destinações clandestinas do entulho, duas podem ser bastante preocupantes (Cassa *et al.*, 2001):

- a) lançamento em encostas, gerando depósitos instáveis, que podem causar deslizamentos;
- b) lançamento em baixadas, junto a redes de drenagem, ou mesmo diretamente no leito dos canais, levando à obstrução do escoamento pluvial e provocando inundações.

De acordo com Pinto (2001), a característica típica das deposições irregulares, resultantes da inexistência de soluções para a captação dos RCC, é um conjunto de efeitos deteriorantes do ambiente local, tais como a degradação da paisagem, o comprometimento do tráfego de pedestres/veículos e da drenagem urbana. Outro detalhe é que elas passam a atrair outros tipos de resíduos, a exemplo de volumosos, resíduos vegetais e não inertes que aceleram a deterioração das condições ambientais no local.

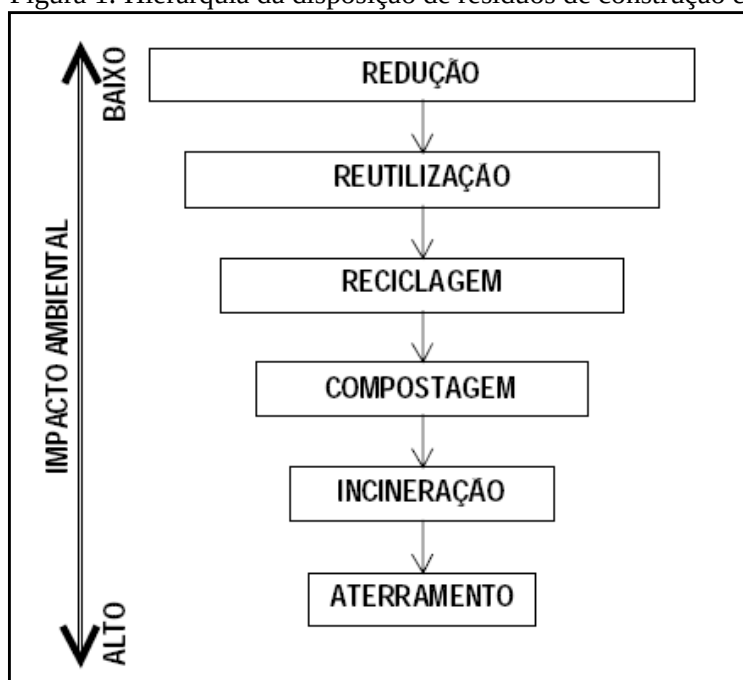
A presença dos RCC e outros resíduos cria um ambiente propício para a proliferação de vetores prejudiciais às condições de saneamento e à saúde humana, sendo comum nesses bota-foras irregulares a presença de roedores, insetos peçonhentos (aranhas e escorpiões) e insetos transmissores de epidemias, a exemplo da dengue (PINTO, 1999).

Além disso, essa alta geração de RCC tem provocado o esgotamento das áreas de disposição e, conseqüentemente, provocado o distanciamento das disposições adequadas. A obrigatoriedade de maiores deslocamentos para os coletores introduz maiores custos, e isso reflete na redução da parcela dos geradores que aderem às remoções corretas e propicia a maior incidência de disposições irregulares, tanto por geradores como por coletores. Infelizmente, é recorrente a disposição irregular, mesmo para aqueles transportadores cadastrados pela Prefeitura. Eles alteram a documentação de modo a indicar que o RCC fora destinado corretamente.

Ainda de acordo com Pinto (1999), a escolha contínua de novas áreas faz parte do cotidiano dos gestores de RCC nos municípios de médio e grande porte, num processo que ele chama de incessante e infrutífero, pois poucas áreas resistem a prazos maiores que alguns anos de deposição.

Analizando o impacto causado pela disposição do RCC, Peng *et al.* (1997 *apud* LEITE, 2001) apresentou uma avaliação hierárquica conforme mostrado na Figura 1, que indica a redução da geração de resíduos como a alternativa mais eficaz para diminuição do impacto ambiental e também em termos econômicos. A reutilização também se apresenta como bom recurso na diminuição do impacto, pois utiliza o mínimo de processamento e energia. Na sequência, vem a reciclagem, ou seja, a transformação do resíduo em produto (agregado reciclado), tema deste trabalho.

Figura 1: Hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição.



Fonte: Peng *et al.* (1997 *apud* LEITE, 2001, pg. 16).

Pinto (2001) indica outro aspecto da lógica atual de abastecimento de matéria-prima e da gestão corretiva, tema que será abordado no próximo item, decorrente do mau uso de recursos naturais não renováveis, pois ao mesmo tempo em que se aterram valas, várzeas e áreas de baixada no ambiente urbano, é feita a abertura de crateras nas regiões de jazida para a extração de recursos minerais.

2.1.5 GESTÃO CORRETIVA

A Gestão Corretiva tem sido uma saída emergencial e inapropriada adotada pelas prefeituras na gestão dos RCC. Além de custosa, seus resultados são momentâneos.

A definição deste tipo de gestão como “Gestão Corretiva” fora feita por Pinto em sua tese no ano de 1999. Porém, até os dias de hoje ela caracteriza bem a situação.

De acordo com Pinto (2001), é grande a geração de pequenos volumes de RCC em serviços denominados como construção informal: atividades de reforma e ampliação. Não havendo solução para a captação dos RCC gerados nessas atividades construtivas, seus geradores e também os coletores que os atendem buscarão, inevitavelmente, áreas livres nas proximidades para a deposição dos resíduos. Havendo ou não a aceitação da vizinhança imediata, essas áreas acabam por se firmar como sorvedouros dos RCC, o que acaba atraindo outros tipos de resíduos. A inexistência de solução impõe a rotina da correção por parte da administração pública, num processo cíclico.

É importante afirmar que não somente o setor informal deposita irregularmente seus resíduos. Tal situação é tão corriqueira que as grandes construtoras contratam empresas especializadas a fim de verificar se os coletores de RCC contratados estão prestando o serviço de forma correta.

Em sua tese, Pinto (1999) informa que as soluções então adotadas em muitos municípios eram sempre emergenciais e que os gestores se mantinham como coadjuvantes dos problemas. Caracterizavam-se por englobar atividades não preventivas, repetitivas e custosas, das quais não surtiavam resultados efetivos em longo prazo, por isso profundamente ineficiente. Por todos esses aspectos, pode-se definir a Gestão Corretiva como uma prática sem sustentabilidade (PINTO, 2001).

Do lado oposto à Gestão Corretiva está a Gestão Diferenciada, sendo esta uma saída sustentável para a gestão dos RCC e que será tratada a seguir.

2.1.6 GESTÃO DIFERENCIADA

Conforme visto anteriormente, a Gestão Corretiva é uma saída emergencial para um problema constante que é a geração de resíduo. A intensidade da geração dos resíduos e os impactos causados pela inadequada gestão destes indicam a necessidade de uma mudança. Uma das saídas encontrada para resolver tal problema é a implantação de uma gestão denominada Gestão Diferenciada.

A Gestão Diferenciada dos resíduos de construção e demolição é constituída por um conjunto de ações que objetivam um novo serviço, visando (PINTO, 2001):

- a) Captação máxima dos resíduos gerados → através da criação de redes de atração, diferenciadas para pequenos e grandes geradores além dos coletores;
- b) Reciclagem dos resíduos captados → em áreas especialmente definidas para este serviço;
- c) Alteração de procedimentos e culturas → relativo à intensidade da geração, coleta, disposição e utilização dos resíduos reciclados.

Dentre os objetivos da Gestão Diferenciada dos RCC, Pinto (2001) cita os seguintes:

- a) Redução dos custos, destinação adequada dos resíduos e correção dos impactos decorrentes da Gestão Corretiva;
- b) Disposição facilitada dos pequenos volumes de RCC gerados;
- c) Descarte racional dos grandes volumes gerados;
- d) Preservação da paisagem e da qualidade de vida nos ambientes urbanos;
- e) Incentivo às parcerias para captação, reciclagem e reutilização de RCC.

O autor também elucida as diretrizes básicas desta gestão, sendo elas (PINTO, 2001; PINTO, 1999):

- a) Facilitação da disposição → a Gestão Corretiva constitui, na grande maioria dos municípios, em um sistema de coleta “às avessas” com os geradores e coletores, definindo os locais que iriam depositar os RCC. A Gestão Diferenciada reconhece essas características e a partir delas define uma logística e estratégias para atração eficiente desses resíduos. A facilitação da disposição é feita com uma oferta maior de áreas públicas de pequeno e médio porte para o descarte de resíduos. As pequenas áreas, que devem ser implantadas em terrenos de cerca de 300m², são voltadas para

entregas feitas por carros particulares, enquanto que as áreas médias são para veículos maiores, do tipo poli-guindaste;

- b) Segregação na captação → a diferenciação integral dos resíduos na captação é condição fundamental para a sustentação de uma gestão racional e para a introdução da reciclagem;
- c) Reciclagem para alteração da destinação → este tipo de gestão é baseada na reciclagem intensa dos RCC, mas também possibilita novas formas de destinação para outros tipos de resíduos como a compostagem para orgânicos e podas vegetais.

De acordo com Pinto (2001), a busca de nova destinação para os RCC deve ser flexível na adoção de soluções. Além disso, a Gestão Diferenciada deve ser acompanhada de ações contínuas de informação e educação ambiental, criando-se um ambiente de incentivo às ações corretas, num modelo de gestão que oferta soluções aos diversos agentes. Para ITEC (1995 *apud* PINTO, 1999), devem prevalecer ações voltadas para a redução da geração de resíduos na fonte, junto à cadeia da construção civil, considerando-se que a melhor forma de gerir os resíduos de uma obra, é fazer com que eles não existam. A parceria entre gestores públicos e iniciativa privada pode incentivar e difundir possibilidades e resultados de ações como:

- a) Gerenciamento interno dos resíduos gerados nos canteiros de obra, possibilitando, pela sua diferenciação, o incremento das possibilidades de reutilização;
- b) Reciclagem interna nos canteiros de obras, com uso de equipamentos de pequeno porte, disponíveis no mercado nacional. Este item será analisado na seção 2.3;
- c) Utilização progressiva de técnicas como a “desmontagem seletiva” em substituição à demolição indiscriminada.

No ano de 1999, na cidade de São Paulo, de acordo com Schneider e Philippi Jr (2004), o transportador privado de resíduos Gentil Ferraz passou a fazer a triagem de alguns materiais como madeira e plástico em uma área que passou a ser denominada Área de Transbordo e Triagem. O intuito desta separação, segundo os autores, era que Gentil pretendia utilizar o aterro público Itaquera que recebia apenas a fração mineral.

Ainda de acordo com os autores, no ano de 2001, o grupo de resíduos da Câmara Ambiental da Construção Civil, no qual tem assento a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP), a Universidade de São Paulo

(USP), o Sindicato das Empresas Removedoras de Entulho do Estado de São Paulo (SIERESP) e prefeituras da Região Metropolitana, reconheceram a importância da experiência de Gentil Ferraz e desenvolveram um conjunto de regras para implantação e operação de Áreas de Transbordo e Triagem de RCC. Este documento serviu de base para o desenvolvimento da norma NBR 15112 (Áreas de Transbordo e Triagem de RCC) e do Decreto Municipal 42.217/2002, que reconheceu essa atividade.

Para Schneider e Philippi Jr (2004) a triagem destes materiais (Fotografia 1¹) permitiu uma redução significativa da massa de resíduos a ser disposta no aterro público e a parte mineral dos RCC passou a ser reutilizada em obras de cascalhamento e manutenção de vias, enquanto que a madeira era separada para utilização em olarias. Gentil ainda inovou outra vez: no ano de 2004 ele implantou a primeira operação privada de reciclagem de RCC na cidade de São Paulo como observado na Fotografia 2.

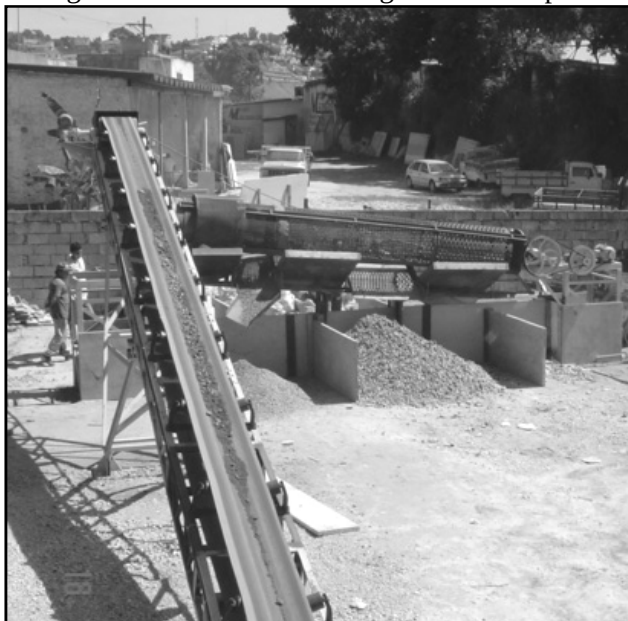
Fotografia 1: Triagem da fração mineral em ATT privada.



Fonte: Schneider e Philippi Jr. (2004, pg. 26).

¹ As Fotografias 1 e 2 são em resolução P/B pois são referentes a 1ª área de ATT implantada na cidade de São Paulo, no ano de 1999.

Fotografia 2: Central de reciclagem em ATT privada.

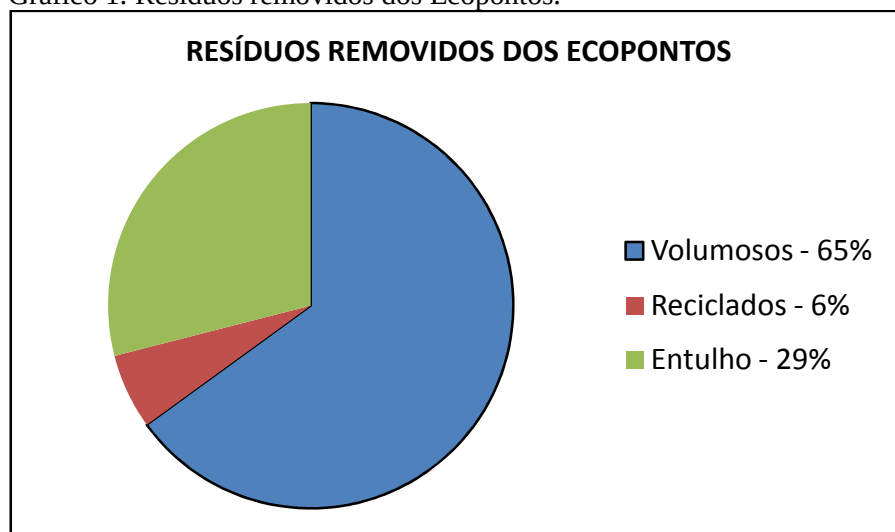


Fonte: Schneider e Philippi Jr. (2004, pg. 27).

Na cidade de São Paulo, segundo dados da Prefeitura (PGIRS, 2014), existem atualmente setenta e sete pontos para disposição regular dos resíduos da construção e demolição de pequenos geradores, denominadas de Ecopontos, e que de janeiro a dezembro de 2013 receberam aproximadamente dezessete mil metros cúbicos de resíduos, sendo 29% de RCC conforme Gráfico 1. Além disso, a cidade possui seis áreas de transbordo e triagem. Tais empreendimentos e equipamentos públicos contribuem para a redução da disposição irregular na cidade.

Ainda na cidade de São Paulo, o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado São Paulo (SINDUSCON-SP, 2005) criou o Programa de Gestão Ambiental de Resíduos em Canteiros de Obra com o objetivo de atendimento à CONAMA. Este programa contou com a participação de grandes construtoras como Cyrela, BKO e Tecnisa, num total de onze empresas. A implantação deste programa iniciou-se em janeiro de 2003 e foi concluído em agosto de 2004.

Gráfico 1: Resíduos removidos dos Ecopontos.



Fonte: Prefeitura de São Paulo (2014).

Este foi um projeto experimental e que trouxe resultados importantes na redução do desperdício, no incentivo à reciclagem, reutilização dos resíduos e também na sua correta destinação. As construtoras participantes implantaram nos procedimentos internos os novos conceitos do programa, como busca da redução do desperdício e quando possível eliminá-los.

No ano de 2005, o Sindicato da Construção Civil de São Paulo criou uma cartilha voltada à questão da gestão dos resíduos no canteiro de obra. Esta cartilha indica como as diversas etapas do processo construtivo devem ser executadas de forma a melhorar a gestão de resíduos e também reduzir a sua geração (SINDUSCON-SP, 2005).

2.1.7 CONTAMINAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

As impurezas que virem a entrar em contato com o RCC podem ocasionar o aumento do custo da reciclagem ou mesmo inviabilizá-la. Leite (2001) fez um estudo a fim de avaliar o efeito das impurezas sobre a propriedade do concreto. São consideradas impurezas:

- a) Matéria orgânica ou solos argilosos: de acordo com Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001) e Levy (1997 *apud* LEITE, 2001), podem ocasionar uma redução da resistência mecânica. A presença de solos argilosos no resíduo é de difícil remoção. Entretanto, pode ser conseguida com o uso de *sprinklers* acima das correias transportadoras ou peneiras. De acordo com Quebaud (1996 *apud* LEITE, 2001), esta prática só é possível devido à pequena densidade apresentada pelo material;

- b) Gesso: este é um material extremamente danoso. O efeito do gesso, conhecido pela formação de etringita secundária que é altamente expansiva, provoca fortes tensões internas que podem provocar fissuração.

John e Agopyan observaram em seu trabalho ([ca. 2000]) que embora em sua grande maioria os RCC seriam classificados como inertes, em função do seu pH e dureza da água absorvida, em alguns casos eles podem conter contaminações importantes. Estas contaminações podem tanto ser oriundas da fase de uso da construção a partir dos quais foram gerados, quanto do seu manuseio posterior. Estes contaminantes podem afetar tanto a qualidade técnica do produto contendo o reciclado, quanto significar riscos ambientais.

2.2 NORMALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO

No início do século XX os resíduos gerados no município de São Paulo eram, geralmente, dispostos nas várzeas de Santa Cecília, Ponte Pequena e Rio Tietê segundo Rocha (1997 *apud* SCHNEIDER; PHILIPPI, 2004). Neste período, quando se registraram diversas epidemias, as terras altas da cidade tiveram forte valorização, provavelmente por estarem afastadas dos locais de disposição final dos resíduos. O primeiro bairro paulista implantado em local elevado tanto expressou a preocupação da elite paulistana com as questões sanitárias que foi chamado de Higienópolis - cidade da higiene, de acordo com IACOCCA (1998 *apud* SCHNEIDER; PHILIPPI, 2004).

O Brasil, até 2002, não tinha políticas públicas para os resíduos gerados pelo setor da construção civil. Na cidade de São Paulo, até aquele ano a legislação municipal limitava-se a proibir a disposição de RCC em vias e logradouros públicos, atribuindo ao gerador a responsabilidade pela sua remoção e destinação (SCHNEIDER; PHILIPPI, 2004).

A partir de 2002, de acordo com Schneider e Philippi (2004), observaram-se significativas mudanças nas políticas públicas e a criação de normas e especificações técnicas referentes aos resíduos da construção civil. Estas políticas públicas são entendidas como um conjunto de diretrizes para o enfrentamento dos problemas provocados pelos RCC, consolidadas na forma de leis. As normas e especificações técnicas fixam padrões reguladores com o intuito de garantir a qualidade do produto, a racionalização da produção e sua uniformidade.

Entrou em vigor, a partir de janeiro de 2003, a Resolução nº 307/02 de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a

gestão dos resíduos da construção civil, entendendo-se como tal os resíduos provenientes de construções, reformas e demolições de obras de construção civil (BRASIL, 2002).

As diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil no Brasil foram estabelecidas em 2002. Entretanto, ainda é incipiente a sua implementação por vários municípios (PIOVEZAN JUNIOR; SILVA, 2007). Dentre as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307/2002 destacam-se:

- a) Os geradores deverão ter como objetivo principal a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, reutilização, reciclagem e destinação final dos RCC;
- b) Proibição da destinação dos RCC em áreas de “bota-foras”, em aterros de resíduos domésticos, em encostas, as margens de mananciais, em corpos d’água, em terrenos vagos ou em áreas protegidas por lei;
- c) A obrigatoriedade dos municípios brasileiros, incluindo o Distrito Federal, de elaborarem o Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil.

Esta Resolução estabeleceu um prazo máximo de 12 meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborassem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, contemplando os pequenos geradores de entulho. Aos grandes geradores foi dado um prazo de dois anos, que expirou em 2005, para que incluíssem, nos seus projetos de obras a serem submetidos à aprovação, o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

De acordo com Azevedo, Kiperstok e Moraes (2006), a Resolução CONAMA 307/02 constituiu um avanço, pois, conforme dito anteriormente, disciplina as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais, proibindo, inclusive, a disposição dos RCC em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de bota-fora.

É importante dizer que esta Resolução sofreu algumas alterações. A Resolução CONAMA nº 431/2011 alterou o artigo 3º referente à classificação dos resíduos de gesso que passou para Classe B, ou seja, resíduo reciclável para outra destinação. A Resolução CONAMA nº 448/2012 alterou o artigo 10º, que passou a dispor o seguinte (BRASIL, 2012):

“ Art. 10. Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros;

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas”.

Na Resolução CONAMA nº 307/2002, este mesmo artigo dispunha (BRAZIL, 2002):

“Art. 10. Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas”.

De acordo com Faria, Cussiol e Pinto (2007), a Caixa Econômica Federal condiciona o acesso a recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço disponíveis para investimento em gestão dos RCC à implantação pelos municípios das diretrizes da Resolução CONAMA nº 307/2002. Esta é a maneira encontrada para sensibilizar as prefeituras e a sociedade sobre a importância de melhorar o gerenciamento dos resíduos. Outra orientação é que as construtoras se adaptem ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H). As empresas que possuem esta certificação têm maior facilidade para se adequar à gestão sustentável dos RCC.

Em 2004 foram publicadas cinco normas ABNT (NBR 15112:2004 a 15116:2004), relativas às áreas de aterro de inertes, áreas de transbordo, áreas de reciclagem, execução de pavimentos com agregados reciclados e requisitos dos agregados reciclados para uso em pavimentos e concreto não estrutural:

- a) Norma NBR 15112 - Fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e volumosos;
- b) Norma NBR 15113 - Aterro de Resíduos da Construção Civil: apresenta regulamentos para o licenciamento e operação de Aterros de Resíduos da Construção Civil;
- c) Norma NBR 15114 - Áreas de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil: apresenta preceitos para o licenciamento e operação de áreas de reciclagem de RCD;
- d) Norma NBR 15115 - Uso de agregado reciclado de resíduos de construção em camadas de pavimentação;

e) Norma NBR 15116 - Classifica os agregados em dois tipos:

- I. agregado reciclado de concreto (ARC), cujo teor de fragmentos à base de cimento e rochas é maior que 90%;
- II. agregado reciclado misto (ARM), cujo teor é menor que 90%.

Além destas Normas, há também a NBR 10004 que define três categorias de resíduos sólidos:

- a) Classe I → Resíduos Perigosos. Tais resíduos possuem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogeneicidade;
- b) Classe II-A → Resíduos não Inertes;
- c) Classe II-B → Resíduos Inertes. Definidos como aqueles nos quais, em ensaio de solubilização dos resíduos, após 7 dias a água solubilizada apresenta condições de potabilidade, exceto pela cor. Grande parte dos RCC pertencem a este grupo.

No âmbito do Estado e também do Município de São Paulo, diversos instrumentos normativos e legais foram produzidos, entre os quais destacam-se os seguintes de acordo com Schneider e Philippi Jr (2004):

- a) Norma Técnica Municipal para a produção e utilização de agregado reciclado em pavimentação (Resolução da Secretaria da Infra-estrutura Urbana da Prefeitura de São Paulo 32/2003);
- b) Decreto Municipal 42.217 de 24 de Julho de 2002: estabelece um conjunto de regras de licenciamento e operação de Áreas de Transbordo e Triagem e Pontos de Entrega Voluntária de resíduos da construção;
- c) Lei Municipal 13.298 de 17 de Janeiro de 2002: estabelece a responsabilidade do gerador e do transportador no que tange ao manejo dos RCC. Na ausência de contrato que defina a responsabilidade das partes, eles se tornam co-responsáveis pelos resíduos gerados e sua destinação;
- d) Decreto Municipal 37.952 de 10 de Maio de 1999: Dispõe sobre a utilização de caçambas estacionárias para coleta e remoção de resíduos da construção civil e resíduos volumosos; determina o cadastramento dos transportadores e a destinação dos resíduos apenas em áreas licenciadas e indicadas pelo Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura de São Paulo.

Já o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012), apresenta alguns instrumentos legais mais recentes, sendo eles:

- a) Resolução SMA nº056/2010 (revoga a Resolução SMA nº41/2002): altera os procedimentos para o licenciamento das atividades que este especifica e dá outras providências;
- b) Lei Federal nº 11.445/2007: estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036, de 11 de maio de 1990, nº 8.666, de 21 de junho de 1993 e nº 8.987, de 13 de fevereiro; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências;
- c) Lei Federal nº 12.305/2010: institui a PNRS, altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências;
- d) Decreto nº 7.404/2010: regulamenta a Lei nº 12.305 de agosto de 2010, que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências.

Alguns dos melhores exemplos de políticas vigentes em outros países são exemplificados por Murakami *et al.* (2002, *apud* SCHNEIDER; PHILIPPI JR, 2004):

- a) Subsídios financeiros para unidades de tratamento de RCC: a Inglaterra subsidia a compra de equipamentos e a Bélgica investe em companhias de reciclagem que processam RCC;
- b) Triagem obrigatória de RCC em obras e entrega obrigatória em unidades de reciclagem: sete países europeus e o Japão introduziram esse importante instrumento;
- c) Incentivo ao uso de materiais de construção reciclados e recicláveis: a Alemanha, Coreia e o Japão têm leis com recomendações gerais para estimular o uso de materiais recicláveis e reciclados;
- d) Demolição controlada: em quatro países europeus é necessário apresentar às autoridades documentação de como os RCC serão tratados antes da demolição das edificações. Na Suécia, o plano de gestão deve acompanhar a documentação para demolição da edificação, o qual deve ser aprovado pelas autoridades;
- e) Cobrança de preços elevados para a deposição de RCC em aterros: utilizada na Dinamarca, Inglaterra, República Checa, Itália e França, ela funciona como incentivo para a reciclagem dos resíduos.

Em seu trabalho, Leite (2001) mostra que nos países nos quais os agregados reciclados já estão inseridos de forma significativa na construção civil, foram desenvolvidas propostas de especificações de material a fim de garantir seu uso da forma mais adequada. A seguir será feita uma amostra de alguns materiais indicados na Tese do autor:

- a) Norma Britânica 6543 (1985): Utilização de subprodutos industriais e sobras de materiais de construção e de engenharia civil assim como o uso de resíduos de demolição ou construção, em obras prediais ou rodoviárias;
- b) Na Holanda foi proposta uma norma para produção de concreto (simples, armado ou protendido) e aplicada quando mais de 20% da massa de agregado gráúdo ou miúdo natural é substituída por agregado reciclado. Se o percentual de substituição for menor que este valor, o concreto pode ser considerado como convencional de acordo com Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001).
- c) De acordo com Grubl e Ruhl (1998 *apud* LEITE, 2001) a antiga Alemanha Oriental possuía uma Especificação Normativa, a RAL-RG 501-1 (1985), para utilização de resíduo de demolição reciclado em obras rodoviárias. Este documento estabelecia diretrizes para garantia de qualidade do material reciclado a ser utilizado. Em 1998, surgiram algumas novidades, como o novo Código Alemão ``Concreto com agregado reciclado de concreto'' (*Beton mit rezykliertem zuschlag*) publicado pelo Comitê Alemão do Concreto Armado. Ainda de acordo com os autores, este novo código é dividido em duas partes. A primeira (Tecnologia do Concreto) trata de particularidades referentes à produção e ao manuseio do concreto. A segunda (Agregado reciclado de concreto em forma de pedra britada e areia britada) trata de exigências que devem ser atendidas pelos agregados reciclados, adicionalmente às exigências da DIN 4226.

A seguir será apresentada a questão da reciclagem dos RCC, o histórico e os números atuais. Além disso, será indicada a realidade em outros países no que se refere a este assunto.

2.3 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A reciclagem é uma das melhores alternativas na questão da redução dos impactos causados tanto pela geração dos RCC como também na questão da extração da matéria prima.

No trabalho intitulado ``Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil'', os autores Ângulo, Zordan e John (2001) citam as reduções dos impactos advindos da reciclagem, sendo eles:

- a) Redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados;
- b) Redução das áreas necessárias para aterro em função da redução do volume de descarte final pela reciclagem;
- c) Redução do consumo de energia durante o processo de produção.

Conforme informado pelo *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya* (1995 *apud* PINTO, 1999), a reciclagem de resíduos da construção é praticada há milênios, sendo comuns na história das civilizações antigas exemplos de construções de um determinado período histórico servirem de base usada por futuras edificações.

De acordo com Schultz e Hendricks (1992 *apud* LEITE, 2001), foram encontrados registros da utilização de alvenaria britada para produção de concreto na época dos romanos. Nesta mesma época era utilizada uma mistura de cinzas vulcânicas, argilas, cacos cerâmicos e pasta aglomerante de cal, na execução de camadas para assentamento do revestimento final dos pavimentos, de acordo com Brito Filho (1999 *apud* LEITE, 2001).

Em 1928 foram realizados alguns estudos a fim de avaliar o efeito do consumo de cimento, consumo de água e da granulometria dos agregados de tijolos britados segundo Devenny e Khalaf (1999 *apud* LEITE, 2001). No entanto, a primeira utilização significativa de RCC aconteceu no período da Segunda Guerra Mundial (LEITE, 1999; JOHN, 2000; PINTO, 1999). Naquela época, milhares de escombros ficaram espalhados pelas cidades e a necessidade de matéria prima para reconstrução dos edifícios e também a falta de local para destinação do grande volume de resíduos fez com que estes fossem reaproveitados.

Segundo Schultz e Hendricks (1992 *apud* LEITE, 2001), com o fim da Guerra a quantidade de entulho nas cidades alemãs girava em torno de quatrocentos a seiscentos milhões de metros cúbicos, e as centrais de reciclagem produziram cerca de onze milhões de metros cúbicos de agregado reciclado de alvenaria. A Inglaterra também fez uso dos

escombros para a produção de agregado, porém em menor volume, segundo os mesmos autores.

Em 1977 foram propostas no Japão as primeiras normas para utilização de agregado reciclado de concreto. Na sequência, no ano de 1982, as normas ASTM C 32-82 e C 125-79 incluíram o agregado de concreto nas especificações de agregado para concreto de acordo com Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001).

A partir dos anos 80, normas e recomendações entraram em vigor em outros países como: Dinamarca, Países Baixos, Rússia e Alemanha, países com deficiência na oferta de granulares de acordo com Pinto (1999).

Já na final da década de 80, de acordo com Pietersen (1998 *apud* Leite, 2001), foi publicado o Plano Holandês de Política Nacional do Meio Ambiente que enunciava intenções e diretrizes para fixar o conceito de sustentabilidade em todas as indústrias holandesas, inclusive a da construção. Como resultado, no ano de 1992 surgiu o Plano de Implementação dos Resíduos de Construção e Demolição que pretendia reaproveitar 90% destes resíduos até o ano de 2000.

Em sua tese, Pinto (1999) apresenta alguns números relacionados ao desenvolvimento da atividade de reciclagem dos resíduos no exterior conforme apresentado abaixo. Não foi possível conferir tais informações na bibliografia nacional estudada:

- a) Alemanha possuía no ano de 1992 cerca de quinhentas e cinquenta usinas de reciclagem e na época definiu como meta mil usinas até o ano de 1998 (PINTO 1999 *apud* NORDBERG NEWS, sd);
- b) Holanda e Dinamarca no início da década de 90 já reciclavam cerca de 60% dos RCC gerados (PINTO 1999 *apud* NORDBERG NEWS, sd);
- c) Tóquio já possuía 12 instalações de reciclagem operando (PINTO 1999 *apud* HONG KONG, 1993).

Para Dorsthorst e Hendriks (2000, *apud* ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M., 2001) a variação do volume reciclado de RCC em diversos países é função de fatores tais como: disponibilidade de recursos naturais, distância de transporte entre reciclados e materiais naturais, situação econômica e tecnológica do país.

Já a experiência brasileira começou em 1991 na cidade de São Paulo e na sequência foi implantada em outras regiões. De acordo com Pinto (1999) estas novas instalações eram decorrentes de planos de gestão dos RCC ou por mera aquisição de

equipamentos. Na Tabela 3 o autor apresenta algumas características das primeiras usinas implantadas no país.

De acordo com Carneiro, Burgos e Alberte (2001), a Prefeitura Municipal de São Paulo foi pioneira no Brasil na implantação de uma usina na reciclagem de resíduo para execução de obras de pavimentação. Ainda segundo os autores, esta usina denominada Itatinga, foi a primeira usina de reciclagem do Hemisfério Sul.

Para os autores Ângulo, Zordan e John (2001), este atraso em relação aos países Europeus é função dos repetidos problemas econômicos e os angustiantes problemas sociais que ocupam a agenda de discussões políticas a exemplo da violência e da saúde. Problemas estes presentes em todos os grandes centros urbanos do país.

Além disso, os autores ainda inteiram que a maior experiência brasileira na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria de cimentos, que recicla principalmente escórias de alto forno e cinzas volantes. Segundo dados apresentados por John (2001), uma grande siderúrgica produz mais de 1 milhão de toneladas de escória de alto forno por ano.

Para Yamamoto *et al* (1997 *apud* ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M., 2001) calcula-se que em 1996 a indústria cimenteira brasileira, ao aplicar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto forno, além da calcinação de argilas e adição de filler calcário, reduziu a geração de CO₂ em 29% e economizou cerca de 28% em combustíveis. A título de curiosidade, Marciano e Khiara (1997 *apud* ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M., 2001) estimam que a indústria cimenteira economizou entre os anos de 1976 e 1995 cerca de 750 mil toneladas de óleo combustível queimando resíduos, como casca de arroz, serragem e pedaços de madeira.

De acordo com John (2001), a incorporação de resíduos pode promover a produção de materiais com melhores características técnicas, como ocorre com a adição de microssílica, que viabiliza concretos de alta resistência mecânica, e da escória de alto forno, que melhora o desempenho do concreto frente à corrosão por cloretos.

De acordo com Miranda, Ângulo e Careli (2009), até o ano de 2002 existiam dezesseis usinas no país e com uma taxa de crescimento reduzida. No entanto, os autores informaram que a partir da publicação da Resolução CONAMA 307/2002, essa taxa de crescimento aumentou de três para nove usinas por ano conforme apresentado no Gráfico 2.

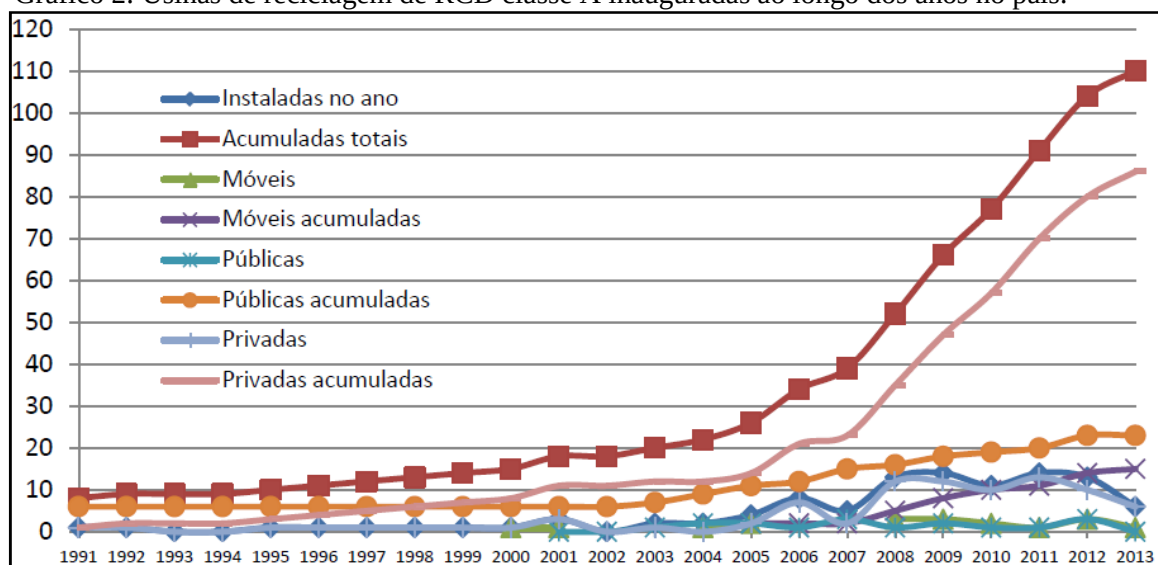
Tabela 3: Características gerais das instalações de reciclagem brasileiras.

Município	Início atividade	Tipo de britador	Capacidade (TPH) (1)	Situação atual
São Paulo / SP	1991	Impacto	100	Opera intermitentemente com produção máxima diária de 180t
Belo Horizonte / MG Estoril	1995	Impacto	25	Opera continuamente, com produção média diária de 119t
Belo Horizonte / MG Pampulha	1996	Impacto	40	Opera continuamente com produção média diária de 87t
Ribeirão Preto / SP	1996	Impacto	40	Opera continuamente, com produção média diária de 95t
S. José dos Campos / SP	1996	Impacto	40	Desativada
Piracicaba / SP	1997	Mandíbulas	15	Opera continuamente
Londrina / PR	1994	Mandíbulas	15	Opera intermitentemente

Fonte: Pinto (1999, pg. 94).

(1) Toneladas por hora - unidade de medida da produção em britagem.

Gráfico 2: Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas ao longo dos anos no país.



Fonte: Abrecon (2013).

Além disso, Miranda, Ângulo e Careli (2009) informam que o aumento do número de usinas privadas tem a ver com a perspectiva dos empresários em relação ao

investimento necessário de implantação e a alta taxa de retorno. Avaliações feitas por esses autores nas cidades de São Paulo, Recife, São Luís e Curitiba mostram que dependendo do local de instalação, uma usina com capacidade de instalação de cerca de 250m³/dia necessite de um investimento aproximado de R\$650.000,00 e apresente uma taxa de retorno mensal de 4,5% com o material comercializado.

A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECON), concebida por Levi Torres em 2011, conta atualmente com 26 associados entre usinas e entidades de reciclagem, sendo só na grande São Paulo um total de 15 unidades. Além disso, de acordo com a Abrecon (2013), o Estado de São Paulo possui o maior número de usinas instaladas, em função da maior atividade de construção civil que gera maior volume de RCC e outros fatores, como o preço mais elevado dos agregados naturais e a maior fiscalização quanto a destinação do RCC.

Por fim, John (2001) resumiu de forma incisiva a questão da reciclagem no livro do Projeto Entulho Bom: “Se, na ponta geradora do resíduo, a reciclagem significa redução de custos e até mesmo novas oportunidades de negócios, na outra ponta do processo, a cadeia produtiva que recicla reduz o volume de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados”.

A seguir será exposta a questão das características do resíduo reciclado.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO RECICLADO

Os resíduos da construção civil, especificamente o Classe A conforme Resolução Conama 307, após sofrerem o processo de reciclagem, possuem algumas características diferenciadas dos agregados extraídos da natureza.

De acordo com Carneiro *et al.* (2001), o agregado reciclado é mais poroso que o natural, o que provoca uma absorção de água maior. Por outro lado, RCC reciclados apresentam elementos com algumas propriedades importantes para o desempenho de materiais de construção.

Segundo Pinto (1998 *apud* CARNEIRO *et al.*, 2001), entre esses elementos, evidenciam-se as partículas de cimento que não foram inertizadas e ainda irão reagir, partículas de cal, que estarão disponíveis para novas reações, partículas já cristalizadas, que funcionarão como iniciador da cristalização e acelerarão a formação da nova rede cristalina, e por último, partículas finas de material cerâmico, com potencial pozolânico, que reagirão com a cal hidratada.

O agregado reciclado é formado por uma combinação de agregado graúdo e/ou miúdo, sendo que a porcentagem de cada depende da granulometria, composição e diâmetro do resíduo e também do equipamento utilizado para executar a cominuição (CARNEIRO *et al.*, 2001).

De acordo com CARNEIRO *et al.* (2001), o coeficiente de forma do agregado reciclado graúdo é similar ao de um agregado graúdo obtido na britagem de uma rocha calcária e apresenta forma mais irregular e uma textura superficial mais áspera. Para Geho (1997 *apud* CARNEIRO *et al.*, 2001), a fração grossa possui uma distribuição granulométrica para quase todas as aplicações de agregados na construção, no entanto, ele afirma que deve-se tomar algumas precauções com relação à fração menor que 2 mm do agregado reciclado a fim de evitar problemas com a absorção de água, forma e textura superficial.

Carneiro *et al.* (2001, pg. 154) concluem que: ``a aplicação do agregado reciclado está condicionada à sua composição, sendo necessária a caracterização sistemática dos agregados produzidos, buscando evitar a sua utilização em aplicações que possam comprometer o desempenho do material [...]´´.

Em uma pesquisa feita por Miranda, Ângulo e Careli (2009) é possível observar a variabilidade dos agregados reciclados encontrados por estes pesquisadores. Na Tabela 4, são indicados os locais de onde foram retiradas as amostras, os intervalos obtidos, fornecendo assim a amplitude, e os limites aceitos pela NBR15116 (Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos).

No estudo de caso será visto que a reciclagem feita no canteiro de obra proporciona uma maior homogeneidade em função do controle maior dos resíduos a serem reciclados. Além disso, como a reciclagem é feita em um período específico da obra, na fase de elevação da alvenaria, há nesta fase a predominância dos resíduos classe A, garantindo assim o maior controle como dito anteriormente.

Áreas de transbordo e triagem recebem resíduos de diversas localidades, com obras em diferentes fases de construção, gerando diversos tipos de resíduos, o que o torna bastante heterogêneo. Além disso, em função do volume recebido, o controle do material entregue não é tão eficaz. A seguir será exposto o processo de produção do agregado reciclado e na sequência os equipamentos utilizados.

Tabela 4: Variabilidade dos agregados reciclados encontrada por pesquisadores.

	Parâmetro	Local	Intervalo	Amplitude	Limite pela NBR 15116
Agregado graúdo	Teor de cerâmica vermelha (%)	Ribeirão Preto (ZORDAN, 1997)	14,6 - 25,9	11,30	ARM ¹ (>10%)
		Santo André (Ângulo, 2000)	0,1 - 13,0	12,90	ARC ² (<10%)
		Vinhedo (ALTHEMAN, 2002)	0,79 - 6,90	6,11	ARC (<10%)
	Contaminantes (%)	Ribeirão Preto (ZORDAN, 1997)	0,20 - 0,80	0,60	ARM (<2%)
		Santo André (Ângulo, 2000)	0,94 - 3,17	2,23	ARC (<2%)
		Vinhedo (ALTHEMAN, 2002)	0,03 - 1,22	1,19	ARC (<2%)
	Teor de finos (%)	Ribeirão Preto (ZORDAN, 1997)	2,50 - 4,40	1,90	ARM (>10%)
		Santo André (Ângulo, 2000)	0,00 - 7,36	7,36	ARC (<10%)
	Absorção de água (%)	Ângulo (2000)	3,92 - 11,28	7,36	ARC (<7%)
		Sanchez (2004)	5,00 - 11,50	6,50	ARC (<7%)
Agregado miúdo	Teor de finos (%)	Socorro (MIRANDA, 2005)	13,00 - 30,00	17,00	ARM (<20%)
	Absorção de água (%)	Santo André (ÂNGULO <i>et al.</i> 2001)	7,00 - 15,56	-	ARC (<12%)

Fonte: Miranda, Ângulo e Careli (2009, pg. 67).

(1) ARM: agregado reciclado misto, definido pela NBR 15116:2004 como o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda de menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

(2) ARC: agregado reciclado de concreto, definido pela NBR 15116:2004 como “o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas”.

2.3.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO AGREGADO RECICLADO

De acordo com Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001), existem vários tipos de processos de beneficiamento para britagem e peneiramento de resíduos de construção e demolição. O tipo de processo é determinado em função do custo e qualidade do agregado reciclado desejado. Além disso, os processos de reciclagem têm equipamentos similares aos utilizados na produção de agregados naturais.

A seguir serão descritos alguns tipos de processos de beneficiamentos dos RCC utilizados em centrais de reciclagem, sendo eles classificados basicamente em função dos critérios e rigor na eliminação dos contaminantes conforme apresentado por Leite (2001):

- a) Planta de Primeira Geração: neste tipo de beneficiamento são utilizados equipamentos (imãs) apenas para a retirada dos metais. Não existem outros aparelhos para a retirada das demais impurezas; por isso, os resíduos devem estar livres de impurezas como madeiras, plásticos, papéis entre outros, já que não é possível retirá-los no decorrer do processo;
- b) Planta de Segunda Geração: similares às de primeira geração, mas contendo sistemas preliminares, mecânicos ou manuais, de eliminação de contaminantes (HANSEN 1992 *apud* LEITE, 2001);
- c) Planta de Terceira Geração: neste tipo de planta todo material reciclado deve ser fornecido, processado e vendido sem a necessidade de transporte de grandes quantidades de material residual do ponto de geração do resíduo e do ponto de processamento, sendo esta uma situação econômica e ambientalmente ideal (HANSEN 1992 *apud* LEITE, 2001).

Além da classificação por geração, as unidades de reciclagem podem ser divididas em instalações fixas e plantas móveis, a exemplo da que foi utilizada no estudo de caso deste trabalho, de acordo com Geho (1997 *apud* CARNEIRO *et al.*, 2001). As principais vantagens das plantas fixas de reciclagem são (LEITE, 2001):

- a) Possibilidade de obtenção de produtos reciclados mais diversificados e de melhor qualidade que os produzidos pelas plantas móveis;
- b) Possibilidade de utilização de equipamentos maiores e mais potentes que possibilitam melhor processo de britagem, retirada de impurezas e peneiramento que os equipamentos utilizados em plantas móveis.

Talvez a grande desvantagem neste tipo de planta resida na necessidade de altos investimentos e da disponibilização de grande área, cerca de 50.000m², para instalação da planta de processamento de acordo com CAINRS *et al.*(1998 *apud* LEITE, 2001). Já para as plantas móveis, o autor indica as seguintes vantagens:

- a) Custos menores que os das plantas fixas;
- b) Menor tempo de instalação;
- c) Redução dos custos de transporte do material de demolição para a planta de reciclagem pois esta se localiza no próprio canteiro.

Para a instalação de uma central de reciclagem de resíduos, deve ser levada em consideração a capacidade operacional do equipamento. De acordo com Brito Filho (1999 *apud* LEITE, 2001), é fundamental o conhecimento de três pré-requisitos básicos:

- a) Volume de geração de resíduo de construção e demolição possível de ser reciclado;
- b) O tipo de material e a aplicação que se pretende para o mesmo;
- c) Local de instalação da unidade recicladora.

2.3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO BENEFICIAMENTO

Dentre os equipamentos que compõem uma central de beneficiamento estão: silo de recepção tipo calha vibratória, britadores, transportadores de correia, extrator de metais ferrosos e conjunto de peneiras.

Os equipamentos de beneficiamento estão diretamente relacionados na determinação da maior parte das propriedades dos agregados obtidos. A seguir, serão apresentados alguns dos tipos existentes, bem como suas vantagens e desvantagens:

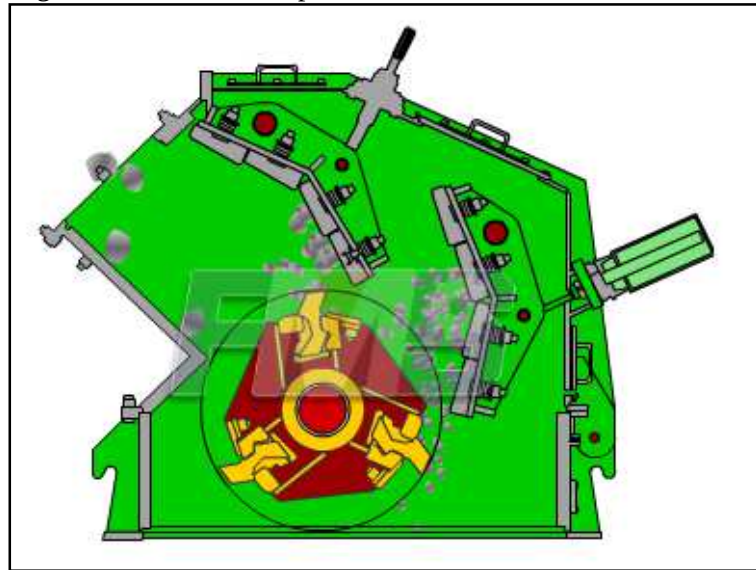
a) Britador de impacto

Este equipamento (Figura 2) pode ser utilizado tanto em britagem primária como na secundária e possui uma câmara de impacto na qual o material é britado através do choque de martelos maciços fixados por um rotor e pelo choque com placas. Ele apresenta as seguintes vantagens (LEITE, 2001):

- I. Significativa redução das dimensões das peças britadas, dispensando em alguns momentos a rebitagem, pois gera uma quantidade razoável de finos (QUEBAUD, 1996 *apud* LEITE, 2001);
- II. Gera grãos com fôrma cúbica, com boas características mecânicas (MAULTZSCH; MELLMANN, 1998 *apud* LEITE, 2001);
- III. Possui menor sensibilidade aos materiais que não podem ser moídos, como barras de aço (HANSEN, 1992 *apud* LEITE, 2001);
- IV. As partículas já possuem linhas naturais de ruptura; portanto a ruptura por impacto acontece nestes pontos, gerando grãos mais íntegros.

Dentre as desvantagens, Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001) apresenta a questão do custo de manutenção do equipamento e também o alto desgaste.

Figura 2: Britador de Impacto.



Fonte: Formats Construction Machinery Company (2014).

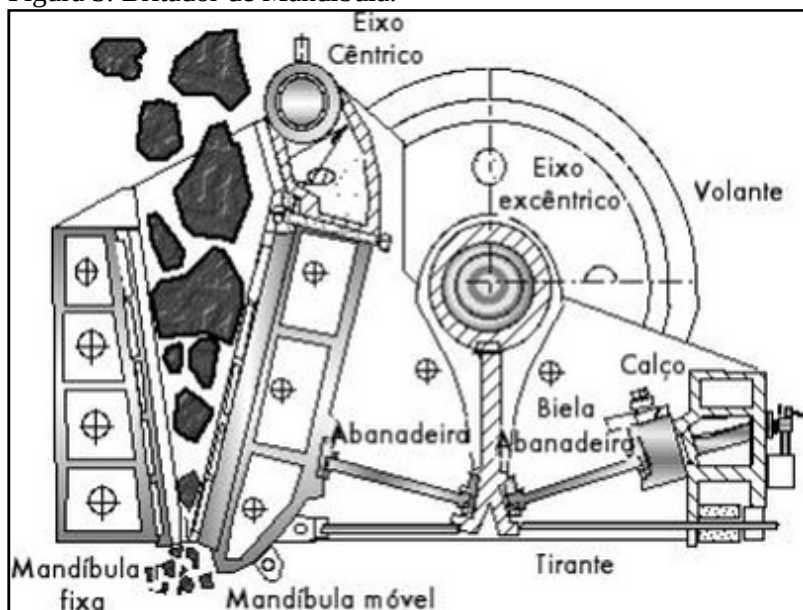
b) Britador de mandíbula

Este equipamento (Figura 3) é dotado de uma câmara de britagem que fragmenta o material por esmagamento das partículas. Estes britadores não reduzem significativamente o tamanho das partículas, sendo assim utilizados como britadores primários. Geram uma grande quantidade de agregados graúdos por isso, o material normalmente é rebritado em moinhos de martelo de acordo com Lima (1999). Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001) aponta como vantagem a distribuição granulométrica adequada para o uso como agregado na produção de concreto e produzem na média apenas 20% de finos abaixo da peneira de 4,8mm.

Já em relação às desvantagens, são apresentadas as seguintes por Leite (2001):

- I. Necessidade de uma segunda britagem, que aumenta o custo do processo (QUEBAUD, 1996 *apud* LEITE, 2001);
- II. Peças armadas de maiores dimensões não devem ser britadas neste equipamento, pois geralmente ocorrem quebras do eixo do britador (QUEBAUD, 1999 *apud* LEITE, 2001);
- III. Alta emissão de ruído;
- IV. Menor produtividade que os britadores de impacto.

Figura 3: Britador de Mandíbula.



Fonte: Chaves, Lins e Torem (2014).

c) Moinhos de martelo

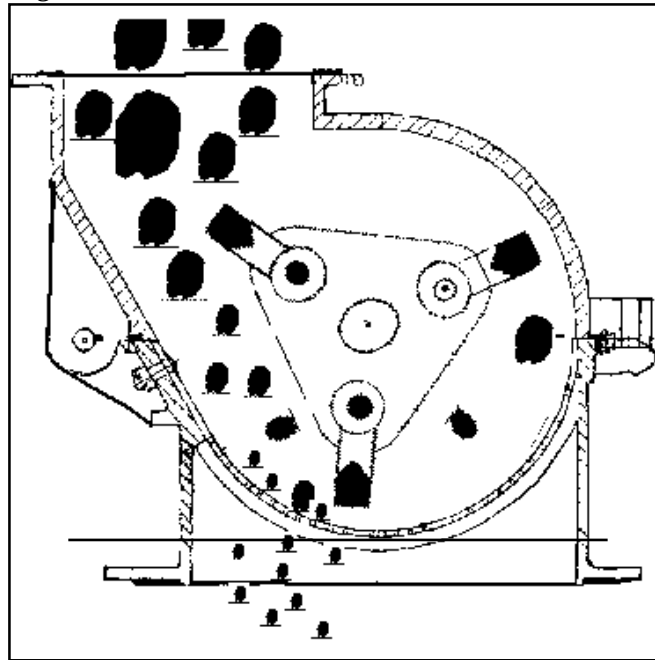
Conhecidos também como moinhos rotativos ou britadores de cilindros (Fotografia 3 e Figura 4) são dotados de câmara de britagem e martelos/cilindros de impacto que fragmentam o material (LEITE, 2001). São equipamentos empregados para o processo de redução de materiais, sendo o que atinge maior índice de redução atualmente, e também é o equipamento de menor custo de aquisição e de manutenção. Este equipamento foi utilizado no estudo de caso que será apresentado neste trabalho na seção 3.

Fotografia 3: Moinho de martelo.



Fonte: Britez (2014).

Figura 4: Moinho de martelo.

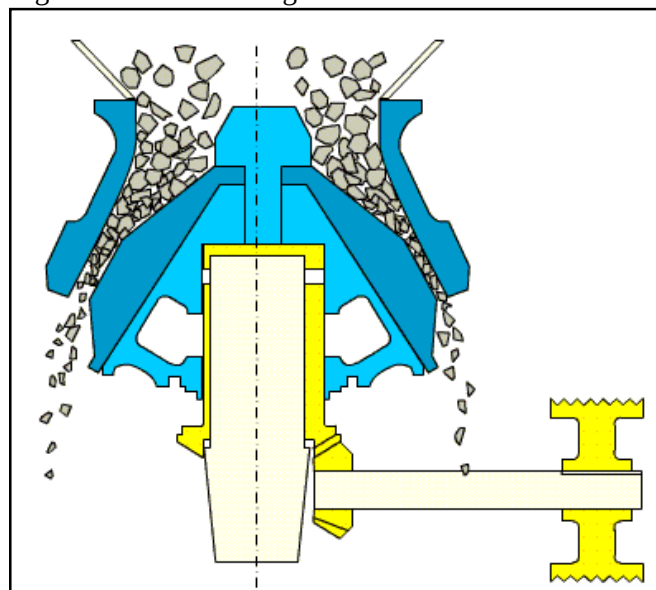


Fonte: Formats Construction Machinery Company (2014).

c) Cones de britagem

De acordo com Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001) este equipamento (Figura 5) é muito utilizado para britagem secundária, processando apenas materiais com diâmetro máximo de 200mm. Leite (2001) informa que estes equipamentos produzem grãos cúbicos, todavia, reduzem a fração de agregados de maiores dimensões, dando origem a uma quantidade excessiva de finos.

Figura 5: Cone de britagem.



Fonte: Formats Construction Machinery Company (2014).

2.4 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO

No Brasil é bastante difundida a utilização de paredes de alvenaria revestidas com argamassa, tanto em paredes internas quanto externas. Diferentemente do que ocorre em outros países a exemplo dos Estados Unidos.

O revestimento é um dos itens que compõem a fase de acabamento de uma construção. Este não é um acabamento simples e possui algumas funções específicas. Além disso, quando executados de maneira inadequada apresentam manifestações patológicas visualmente perceptíveis e que, na grande maioria das vezes, demandam grandes investimentos para readequação.

Para Santana, Carneiro e Sampaio (2001) o revestimento de uma construção possui importante função na melhoria da qualidade de vida, já que concebe a impermeabilização da alvenaria, inibindo assim a proliferação de ácaros e fungos, a infiltração de água e também, impedindo que se alojem insetos em frestas.

De acordo com Baía e Sabbatini (2008), não é função do revestimento esconder imperfeições da base como por exemplo estrutura fora de prumo, podendo comprometer as reais funções do revestimento.

Argamassas constituídas de agregado reciclado vêm sendo utilizadas nas últimas décadas em diversas obras de países como Israel, Argentina e Brasil. Em relação ao Brasil, há na cidade de São Paulo construções datadas da década de 80 e 90. Outro exemplo, de acordo com Santana, Carneiro e Sampaio (2001) é na cidade de Salvador na qual, o Edifício de alto padrão Mansão Bernardo Martins Catarino, construído na década de 90, reciclou o entulho no canteiro para produção de argamassa.

Segundo esses autores, o bom desempenho do agregado reciclado em argamassa é função da presença de aglomerantes ainda não inertizados e de resíduos cerâmicos com características pozolânicas, o que beneficia o início das reações e incrementa as propriedades mecânicas.

O primeiro estudo sistemático para a utilização de resíduos de construção e demolição foi concluído em 1986 pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, cuja pesquisa consistiu em estudar o uso do agregado reciclado para produção de argamassas.

A reciclagem de RCC para produção de argamassa ocorre com maior frequência nos canteiros de obra e, nos últimos anos, tem aumentado o número de construtoras que estão utilizando agregado reciclado em substituição ao agregado comum. Assim, materiais como blocos avariados, restos de argamassa e concretos endurecidos que

eram descartados, passaram a ser reciclados, transformando-se de resíduo em agregado novamente (SANTANA, CARNEIRO, SAMPAIO, 2001).

Dados medidos por Lichtenstein (1986 *apud* MIRANDA, 2000) indicam que o consumo de argamassa no Brasil está próximo de $0,137\text{m}^3/\text{m}^2$ construído, incluindo o desperdício, cujo valor é bastante elevado para este tipo de material. Mais recentemente, Souza e Franco (1997 *apud* MIRANDA, 2000) chegaram ao valor de $0,13\text{m}^3$ de argamassa por m^2 de construção.

De acordo com Santana, Carneiro e Sampaio (2001), há diferenças entre os agregados reciclados produzidos no próprio canteiro de obra àqueles de usinas de reciclagem. A principal é que, dentro do canteiro, pode-se, com certa facilidade, separar os materiais que serão reciclados. Durante a execução da obra, separam-se, para reciclagem, os restos de concreto na fase de estrutura, os restos de blocos na fase de alvenaria e os restos de argamassas na fase de acabamento, propiciando a produção de agregado reciclado homogêneo. Já o RCC reciclado em usina origina-se de diversas obras da região, sendo bastante heterogêneo.

A seguir será apresentada a questão da avaliação de desempenho das argamassas, item importantíssimo para que se viabilize o revestimento executado com RCC classe A reciclado.

2.4.1 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

De acordo com Cincotto, Silva e Cascudo (1995 *apud* SANTANA; CARNEIRO; SAMPAIO, 2001), para a análise do desempenho de uma argamassa de revestimento deve-se avaliar o seu comportamento em três etapas:

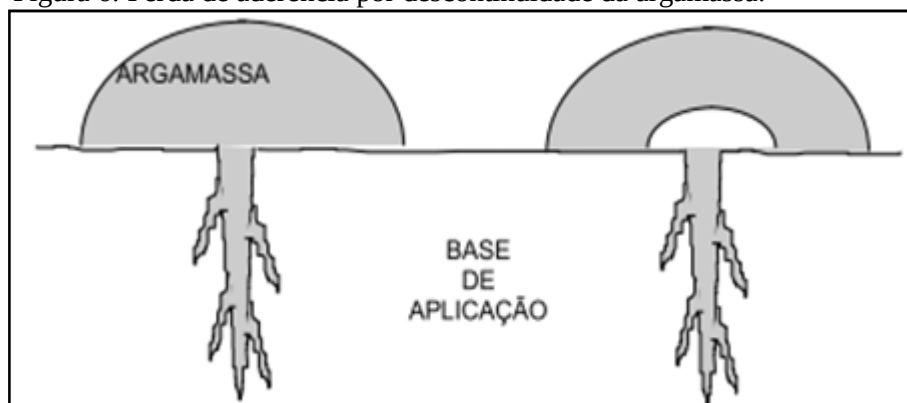
- a) Durante o seu preparo e período que se encontra no estado fresco;
- b) Período após a aplicação sobre o substrato, quando a argamassa se encontra em endurecimento;
- c) Período de uso da edificação, quando o revestimento sofre os efeitos provenientes da ação dos usuários e das condições de exposição.

Em relação ao estado fresco, as características importantes são a trabalhabilidade, a aderência inicial e a retração na secagem, que serão definidas a seguir:

- a) Aderência inicial: segundo Baía e Sabbatini (2008), esta propriedade está relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da

argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros e saliências, seguidos do endurecimento crescente da pasta. Ainda de acordo com os autores, para uma adequada aderência inicial, conforme Figura 6 item (a), a argamassa deve apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequadas à sucção da base e às condições de exposição. Além disso, a base deve estar limpa, rugosa e sem oleosidade. É possível observar na Figura 6 item (b) o fenômeno da perda de aderência;

Figura 6: Perda de aderência por descontinuidade da argamassa.



Fonte: Baía e Sabbatini (2008).

- b) Trabalhabilidade: para Baía e Sabbatini (2008), a trabalhabilidade é uma propriedade de avaliação qualitativa a ser executada pelo pedreiro;
- c) Retração na secagem: ocorre em função da evaporação da água de amassamento e pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. Ela pode ocasionar a formação de fissuras no revestimento, podendo ser prejudiciais, ou microfissuras. Os fatores que influenciam essa propriedade são: tempo de sarrafeamento e desempenho, espessura e intervalo de aplicação (BAÍA; SABBATINI, 2008).

Já no estado endurecido as propriedades estão relacionadas às características do substrato e da interface revestimento/substrato. A principal propriedade é avaliada em painéis de argamassa endurecida, aplicada sobre alvenaria sendo denominada resistência de aderência à tração.

A resistência de aderência à tração ou teste de arrancamento avalia a capacidade das argamassas resistirem a esforços normais de tração. Essa propriedade é influenciada por diversos fatores como: absorção de água, resistência mecânica, textura superficial, condições de execução do assentamento da base e natureza do aglomerante. Nas edificações, uma das maiores razões de falha das argamassas de revestimento está relacionada

com a perda ou a falta de aderência ao substrato (SANTANA; CARNEIRO; SAMPAIO, 2001).

A NBR 13749 estabelece os limites mínimos de resistência à tração para revestimentos de argamassas, conforme o local de aplicação e o tipo de acabamento como indicado na Tabela 5. Para que o revestimento atenda a essa especificação, a argamassa deverá apresentar, pelo menos, oito valores, dentre os doze resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, superiores aos limites estabelecidos. Estes são os novos valores exigidos pela Norma que fora revisada no ano de 2013 (ABNT, 2014).

Para Santana, Carneiro e Sampaio (2001), os resultados obtidos nesse ensaio são geralmente muito variáveis, devido à resistência de arrancamento ser a medida da interação argamassa/substrato, dependendo, portanto, das características de ambos.

Tabela 5: Limites de resistência de aderência à tração para argamassas de revestimento.

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,2
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,3
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,3
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,3
Teto			≥ 0,2

Fonte: ABNT (2014).

A seguir será apresentado o estudo de caso feito em um canteiro da Construtora Cyrela cujo objetivo era a reciclagem dos resíduos classe A feita na própria obra e, na sequência, o aproveitamento do produto resultante deste processo (agregado reciclado) para a produção de argamassa de revestimento.

3. ESTUDO DE CASO

É apresentado a seguir um estudo prático feito em um canteiro de obra da Construtora Cyrela, localizado na cidade de São Paulo, a respeito da reciclagem de resíduos classe A no próprio canteiro para a produção de agregado reciclado e, na sequência, seu aproveitamento para a produção de argamassa para revestimento.

A obra em questão está situada num terreno de 4.957m² e possui cerca de 46.100m² de construção. É composta por duas torres conjugadas com 27 pavimentos e apartamentos de 46 a 69m² de área privativa. É apresentado uma visão geral da fachada deste empreendimento na Figura 7.

Figura 7: Detalhe da fachada do empreendimento.



Fonte: Cyrela (2014).

Nos últimos anos muito tem se falado a respeito da gestão dos RCC, principalmente após Resolução CONAMA/307, e algumas iniciativas estão surgindo no mercado.

Com o intuito de utilizar no próprio canteiro o resíduo gerado pela obra, a construtora iniciou um processo de análise das tecnologias existentes que permitissem este aproveitamento. Diferentemente do que algumas construtoras vinham fazendo, principalmente

aquelas que possuíam algum tipo de certificação em seus empreendimentos, que era o envio deste material para usinas de reciclagem, a Cyrela implantou uma mini usina de reciclagem no próprio canteiro de obra.

Porém, antes de apresentá-lo, será mostrado que esta iniciativa irá compor um conjunto de diretrizes já existentes para a gestão dos RCC nos canteiros da construtora. A seguir será feita uma pequena explanação a respeito.

3.1 PROCEDIMENTOS INTERNOS

A Construtora Cyrela adota diversos procedimentos relacionados à gestão dos RCC, além de outros relacionados à execução de serviços, que muito contribuem com o processo de gestão. Esses procedimentos são mensalmente avaliados por uma equipe interna.

Uma das primeiras etapas de uma obra é a chegada do material ao canteiro, seguida da sua movimentação e estocagem. Neste momento, pode haver a geração de resíduos e, em função disso, há um procedimento interno com o intuito de padronizar a movimentação e estocagem dos materiais e com isso reduzir a sua geração.

Para a descarga dos materiais são utilizados: doca nivelada, doca com rampa e doca móvel. As docas podem ser feitas de madeira ou estrutura de concreto. A doca com rampa deve ter inclinação máxima de 15%. Esse procedimento auxilia a descarga de materiais na obra. Nesta etapa pode haver geração de resíduo caso algum material vier a ser danificado a exemplo da Fotografia 4 abaixo.

Fotografia 4: Geração de resíduo na descarga de material.



Resíduo gerado durante o recebimento. Utilização de pontalete para ajudar a destravar a caçamba do caminhão.

Fonte: Acervo pessoal (2010).

Para a movimentação do material acima, bloco de concreto e também no caso dos cerâmicos, são utilizados carrinhos duas rodas, também conhecidos como paleteiros, e sua movimentação deve ser feita através de paletes que são estruturas de madeira nas quais são estocados os materiais. Materiais ensacados como cimento e cal também são armazenados sobre estas estruturas, porém, são transportados com carrinhos quatro rodas. A grande vantagem destes carrinhos é a capacidade de transporte.

Para os materiais ensacados deve-se atentar ao empilhamento máximo de dez sacos e estes devem estar estocados em local seco e protegido. Em relação a outros materiais como azulejos, louças e portas, deve ser observado o empilhamento máximo para cada material como mostrado na Fotografia 5. Esse empilhamento máximo é feito de forma que o peso estocado não danifique o material. No entanto, um ponto importante com relação a estes estoques é sua localização, pois não podem sobrecarregar a estrutura em função da carga aplicada, mas também devem ficar em áreas de fácil acesso e próximos a equipamentos de transporte como a cremalheira.

Fotografia 5: Estocagem de cerâmica.



Fonte: Acervo pessoal (2010).

Após estas etapas, a próxima na qual pode haver a geração de resíduos é a de abastecimento dos materiais para os locais de trabalho. A fim de evitar a geração de resíduos na etapa de abastecimento de materiais, antes do início de cada atividade é feito um protótipo onde são levantados os materiais e as quantidades a serem usadas. Com isso, são transportados para cada unidade apenas a quantidade definida em protótipo. Caso venha

sobrar ou faltar material, deve ser aberto um registro para controle e, caso necessário, a revisão das quantidades estabelecidas. Observa-se que a sobra de material no local de trabalho pode ocasionar algum dano ao mesmo, inutilizando-o.

No caso de materiais como blocos, areia e sacos de cimento, o guincheiro é o responsável por fazer a distribuição para os locais de trabalho. Há em cada cremalheira uma chapeira onde são colocados cartões, conforme ilustrado Fotografia 6, indicando a quantidade, tipo de material e o local para onde este deve ser levado, de acordo com o projeto de produção.

Fotografia 6: Chapeira localizada nas cremalheiras.



Fonte: Acervo Construtora Cyrela (2014).

Já para os materiais como louças e cerâmicas há algumas diferenças, dentre elas o uso de antecâmaras para estocagem temporária. São pequenas áreas cercadas, anexas às áreas de estoque, onde cada espaço representa um apartamento. Nestes espaços são colocados os kits com as quantidades dos materiais que serão utilizados em um cartão, feito pela Equipe de Arquitetura. Estes kits são montados pelo almoxarifado, responsável pela liberação do material ao guincheiro.

Após essas fases, com os materiais já no local de trabalho, iniciam-se os trabalhos. Nessa etapa, a geração de resíduos é maior, como indicado na Fotografia 7, na qual é possível observar que uma caixa de cerâmica, que ainda não havia sido utilizada, fora

danificada durante a execução dos trabalhos e, na Fotografia 8, os resíduos de cerâmica proveniente dos recortes.

Fotografia 7: Geração de resíduo no local de trabalho.



Fonte: Acervo pessoal (2014).

Fotografia 8: Sobras de recorte de cerâmica.



Fonte: Acervo pessoal (2014).

Em função desta geração de resíduos, a Cyrela estabeleceu um procedimento interno que define as diretrizes para a gestão dos resíduos no canteiro de obra.

No início de cada obra é entregue ao engenheiro responsável o Projeto de Gerenciamento de Resíduos indicado na Figura 8. Este define a quantidade e a locação dos

dispositivos de acondicionamento inicial e final. Além disso, ele recebe também o protocolo do Alvará de Movimentação de Terra, as Licenças de Operação do Aterro e o nº de cadastro do Departamento de Limpeza Urbana (LIMPURB) dos transportadores contratados pela obra.

Figura 8: Projeto de Gerenciamento de resíduo.

Fonte: Britez (2011).

A classificação dos resíduos é feita conforme a Resolução 307/2002 do CONAMA (BRASIL, 2002), e como destino, esses resíduos podem ser transportados para áreas de transbordo e triagem, aterros de resíduos da construção civil, aterros para resíduos industriais e cooperativas que comercializam produtos recicláveis. Para destinar os resíduos a estas áreas são necessários alguns documentos e informações:

- Aterro de resíduos de construção: porte da área (tamanho do terreno e capacidade de recebimento diário) e Licença de Operação, fornecida pela CETESB;
- Área de Transbordo e Triagem (ATT): Licença de Operação, expedida pela Prefeitura Municipal de São Paulo ou administração pública municipal;
- Área de Reciclagem (transformação dos resíduos Classe A em agregados): Licença de Operação, expedida pela Prefeitura Municipal de São Paulo ou administração pública municipal;
- Aterro para resíduos industriais (classe I e II conforme NBR 10004:04): Licenças de Instalação e Operação, expedidas pela CETESB, e Licença Prévia em caráter

precário, expedida pelo Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental (DAIA), com apresentação do Relatório Ambiental Preliminar (RAP);

- e) Sucateiros, cooperativas, grupos de coleta seletiva e outros agentes que comercializam resíduos recicláveis: Contrato Social ou congênere, Alvará de Funcionamento, expedido pela Prefeitura Municipal de São Paulo ou administração pública municipal, e Inscrição municipal.

Outra questão importante é que para o transporte de resíduos para os seus destinatários é necessário o preenchimento do Controle de Transporte de Resíduo, também conhecido como CTR (Figura 9).

Figura 9: Exemplo de uma CTR.

CTR - Controle de Transporte de Resíduos			
Gerador	Nome ou razão Social: GOIANIA EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS LTDA		Data da Emissão 5/5/2010
	Nome da Obra:		
	CNPJ: 08.808.622/0001-52		
	Endereço de Retirada: Rua Caioba x Rua Domingos Afonso		
Tipo de Resíduo/Unidade			
Resíduo	Quantidade	Resíduo	Quantidade
Madeira/m³	23		
Dados do Transportador			
Nome: Transpiraquara Transps Ltda ME / CNPJ: 04.563.301/0001-84 / Inscrição Estadual: 126.006-5			
Tipo de Veículo: Caminhão Carroc Madeira		Placa: HQR-4655	
Dados do Destinatário			
Nome: Cidade Limpa Comercio de Madeira LTDA / CNPJ: 09.376.063/0001-11 / Endereço: R DOS VIANAS - VILA BAETA NEVES - SÃO BERNARDO DO CAMPO			

CTR - 13177
1ª Via > Gerador (Obra) Assinaturas e carimbos
Gerador
Transportador
Destinatário

Fonte: Construtora Cyrela (2010).

Este preenchimento é feito de forma eletrônica, devendo ser impresso em três vias:

- 1ª Via = cópia da obra que deve retornar assinada / carimbada pelo destinatário;
- 2ª Via = para controle da empresa de retirada dos resíduos;
- 3ª Via = para controle da empresa de destinação dos resíduos.

Com os trabalhos iniciados e com a frequente geração de resíduos pode ser necessário o cadastramento de novos destinatários e a reposição das caçambas estacionárias. Para isso, a empresa também possui procedimentos internos. As caçambas estacionárias de resíduos Classe A (concreto, argamassa, alvenaria) devem ser colocadas, sempre que possível,

no interior do canteiro de obra. Não devem utilizar chapas, placas e outros dispositivos que promovam a elevação da capacidade volumétrica das caçambas disponíveis na obra.

Assim, pode-se observar a abrangência dos procedimentos que a Construtora possui. Eles visam atender ao disposto na Resolução CONAMA 307 e às Regulamentações estaduais e municipais. Os procedimentos incluem desde regulamentações para a não geração de resíduos como a melhor forma de gestão do resíduo gerado. Com o intuito de aprimorar ainda mais esta gestão dos RCC, a Cyrela iniciou um estudo para que seja feita a reciclagem dos resíduos Classe A no próprio canteiro e o seu aproveitamento na produção de argamassa de revestimento. A seguir será exposto o estudo que foi executado na obra Mood.

3.2 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS CLASSE A E SEU APROVEITAMENTO

Conforme dito, este estudo contribuiu no avanço da gestão dos resíduos nos canteiros da construtora. A grande vantagem é que a reciclagem deste resíduo é feita na própria obra e, na sequência, o agregado reciclado é utilizado em substituição de parte da areia natural presente no traço para a produção de argamassa de revestimento, como será visto.

Este projeto visava tanto à redução do consumo de recursos naturais, através do aproveitamento do resíduo que era reciclado, como, conseqüentemente, à redução de custos, seja ela pela compra de agregado natural ou com o transporte para a correta destinação deste resíduo.

O estudo para utilização de agregado reciclado começou no ano de 2009 na empresa, quando o Departamento de Qualidade e Desenvolvimento Tecnológico analisou como utilizá-lo no traço de argamassa para revestimento (Figura 10), que no caso desta construtora é produzida em canteiro. Um detalhe importante é que nas obras a areia é ensacada, após o recebimento, em sacos de ráfia de 27l. Com este estudo chegou-se ao novo traço no qual dois sacos de areia fina são substituídos por agregado reciclado, ficando o traço de argamassa de revestimento conforme indicado na Figura 11. Este novo traço não trazia grandes alterações em relação às características da argamassa, conforme verificado em estudo específico.

Observe que a alternativa não envolve a compra de agregado reciclado. O motivo principal é que, conforme visto na Revisão Bibliográfica, a variabilidade do RCC que chega a um aterro é muito grande e pode haver a presença de contaminante. No canteiro, tem-se o controle de tudo que entra através de ensaios específicos para cada material, permitindo assim a formação de um agregado reciclado mais homogêneo.

Figura 10: Traço de argamassa de revestimento com agregado natural.



Fonte: Britez (2013).

Figura 11: Traço de argamassa de revestimento com agregado reciclado.



Fonte: Britez (2013).

Para este projeto, houve certa dificuldade na busca da tecnologia que viabilizasse tal reciclagem a ser executada no próprio canteiro. A grande maioria dos equipamentos disponíveis no mercado são para o processamento de grandes volumes de resíduos. A alternativa encontrada foi a utilização de uma máquina de pequeno porte de reciclagem de RCC.

Foram consultadas algumas empresas a fim de verificar as máquinas disponíveis no mercado e suas características como capacidade de processamento, dimensão dos equipamentos e custos. Dentre as empresas consultadas estavam ANVI, Komplet e Construeco.

Depois de identificada a melhor tecnologia a ser empregada, um triturador de pequeno porte da empresa CONSTRUECO AMBIENTAL, a Cyrela deu início à execução do protótipo. A escolha desta empresa foi definida em função da disponibilidade imediata do equipamento, o tamanho (como dito anteriormente o porte do equipamento era uma das premissas) e do modelo de negócio (equipamento + mão de obra).

Em relação ao equipamento (Fotografia 9), foi necessária uma área de cerca de 25 a 40m² além da área de armazenamento do resíduo e do agregado reciclado. A sua produção girava em torno de 2m³/h, a depender da disponibilidade de resíduo, do consumo do agregado reciclado (espaço para estocagem) e, por fim, do funcionamento normal do equipamento.

Fotografia 9: Equipamento da CONSTRUECO AMBIENTAL.



Fonte: Acervo próprio (2013).

Uma das preocupações que se teve inicialmente foi o do consumo de energia, apontado pela empresa como sendo de 4,5 kWh. No entanto, o Departamento de Instalações informou que tal consumo não traria impacto ao sistema provisório de energia elétrica do canteiro.

Além do equipamento, fez parte do escopo do contrato firmado com a CONSTRUECO triturar o resíduo gerado no canteiro e armazená-lo em sacos de ráfia diferenciados com a cor verde, fornecidos pela construtora, conforme Fotografia 10, e dosados no equipamento padrão da empresa, que possui um recipiente com medidas 35cm x 35cm x 21,5cm.

No entanto, o transporte de resíduo da área de geração até a mini central recicladora instalada na obra e o movimento reverso, distribuição do agregado reciclado para as áreas onde estavam as centrais de produção de argamassa, ficaram sob a responsabilidade da obra.

Fotografia 10: Agregado reciclado estocado.



Fonte: Britez (2013).

Em relação aos riscos envolvidos no processo, foi verificado que o maior deles seria a interrupção da produção, seja por questões comerciais ou então por quebra do equipamento. No entanto, nestes casos de interrupção da produção, a obra não seria prejudicada, pois bastava utilizar agregado comum, retornando assim ao traço anterior.

Com relação aos custos, ele está diretamente relacionado ao volume de resíduo reciclado produzido. No contrato firmado com a empresa CONSTRUECO foi acertado um valor fixo por metro cúbico de agregado reciclado produzido. Neste valor já estavam inclusas

as despesas com mão de obra e locação de equipamento. Tal valor não poderá ser indicado neste trabalho pois a construtora não autorizou.

Para a análise de viabilidade da utilização deste sistema de reciclagem de RCC (apenas Classe A) foram considerados os custos da areia (agregado natural) e também da caçamba utilizada. Além disso, observou-se que para cada um 1 litro de entulho abastecido no britador era produzido 0,83litro de agregado reciclado. Sendo este o valor adotado para a análise de viabilidade.

Assim, foi verificado que a construtora obtinha uma economia de cerca de 10% a cada caçamba de resíduo classe A beneficiada. Como visto no parágrafo anterior, uma caçamba de resíduo classe A de 4m³ produz cerca de 3,32m³ de agregado reciclado. Assim sendo, esta economia esta relacionada a compra de agregado natural (3,32m³/ caçamba reciclada) e locação de caçamba. É importante lembrar que neste cálculo já esta considerado o custo na produção do m³ de agregado reciclado.

Observa-se que no quesito financeiro, a implantação deste sistema de reciclagem no próprio canteiro apresentou um resultado excelente. Outro ponto é que, como este equipamento ficou próximo da cremalheira e a movimentação dos resíduos nos canteiros é de responsabilidade dos empreiteiros, a mudança na logística obteve o apoio dos operários em função da redução da distância de disposição dos RCC classe A. Além disso, conforme já informado, o agregado reciclado era ensacado pela CONSTRUECO, o que reduzia também o trabalho destes operários, que ensacavam menos agregado natural.

Outra questão importante é que como o canteiro desta obra estava localizado em uma zona de restrição de tráfego, os caminhões podiam circular apenas das 22:00 às 05:00h. O aproveitamento dos resíduos classe A gerava a redução da necessidade de oferta de caçamba e conseqüentemente, reduzia o problema da emissão de ruído durante as trocas de caçamba neste período, algo que incomodava os vizinhos.

Para completar o estudo, fora feito o ensaio do painel de revestimento que é normalizado pela NBR 13749. O relatório completo do ensaio será apresentado no anexo A. Segundo a NBR 13749 a cada grupo de 12 ensaios, pelo menos 8 resultados deverão apresentar valores maiores que 0,30 MPa. E, como foi possível observar, os resultados apresentados estão bem acima do limite mínimo especificado pela Norma, em alguns casos atingindo valores superiores a 0,60MPa. Os dois valores que estão próximos de zero podem ser desconsiderados pois tais resultados não condizem com os demais, podendo indicar um erro de execução nestes dois casos.

Até o momento não foi verificada nenhuma manifestação patológica dos revestimentos argamassados efetuados nesta obra. Pode-se dizer que tal procedimento foi um sucesso, tanto na parte financeira como também na questão técnica.

A seguir serão apresentadas algumas fotos do processo de produção do agregado reciclado e também de uma parede revestida com argamassa contendo agregado reciclado.

Fotografia 11: Central de reciclagem instalada na obra.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Fotografia 12: Bocal da esteira.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Fotografia 13: Detalhe da esteira.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Fotografia 14: Revestimento executado com agregado reciclado.



Fonte: Cyrela (2013).

Fotografia 15: Detalhe do agregado reciclado.



Fonte: Cyrela (2013).

4. DIRETRIZES PARA O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A, RECICLADOS EM CANTEIRO, PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A questão da reciclagem dos resíduos classe A foi iniciada em escala comercial na década de 90. No entanto, a princípio apenas pelos órgãos públicos no intuito de desafogar as áreas de recebimento e aproveitá-lo nas obras de pavimentação para a execução de bases e sub-bases de pavimentos asfálticos.

Porém, com o passar do tempo, período no qual foi crescente o aumento de regulamentações e também do custo da destinação deste resíduo, passou a existir iniciativas privadas de forma a obter o melhor custo benefício na gestão deste resíduo.

A reciclagem do resíduo classe A em canteiro, conforme visto na revisão bibliográfica e também no estudo de caso, é uma alternativa que mostrou ser, além de viável em termos práticos, economicamente vantajosa. O resíduo proveniente das atividades construtivas do próprio canteiro, como elevação da alvenaria e concretagens de estrutura, após o processo de reciclagem passa a ser produto e não mais resíduo, ou seja, passa a ter valor agregado.

Todavia, para que este processo ocorra de forma adequada e não haja perdas no resultado, seja na redução do resultado dos ensaios tecnológicos ou no acabamento do produto final, é necessário que haja uma metodologia de desenvolvimento bem pautada, dividida em etapas específicas e sequentes uma das outras.

Assim, de acordo com o Levantamento Bibliográfico e o Estudo de Caso, apresenta-se a seguir uma sugestão de diretrizes para a implantação de uma gestão de resíduos classe A de ciclo fechado, através da reciclagem e o aproveitamento do agregado reciclado no próprio canteiro:

- a) A primeira etapa deste processo deve ser a identificação e quantificação do resíduo disponível e também da demanda. Assim será possível verificar se o resíduo o qual se deseja utilizar está disponível e a quantidade é viável para implantação do processo;
- b) Após esta etapa deve-se investigar o resíduo em questão. Alguns tipos de obra podem conter alguns contaminantes que inviabilizem a reciclagem. A investigação deverá incluir também o manejo que o resíduo recebe após a sua geração, pois este pode afetar as características do produto e as possibilidades de aplicação. Conforme visto, no manejo pode haver a contaminação do resíduo. Faz parte desta investigação a caracterização do resíduo através de:

- I. Análise química (natureza dos materiais)
 - II. Análise física (densidade e granulometria)
- c) Escolher o tipo de serviço no qual pretende-se utilizar o agregado reciclado. Isso porque pode haver variação da granulometria necessária;
 - d) Determinar o traço a ser utilizado através de ensaios específicos a depender do tipo de utilização da argamassa a ser produzida com agregado reciclado. O ideal é que o agregado substitua apenas parcialmente o agregado natural, de modo que não se altere significativamente as características do produto em questão (revestimento, contrapiso, concreto não estrutural). No caso de utilização do agregado reciclado para a execução de revestimento de argamassa, é necessário efetuar alguns painéis para a determinação da resistência de aderência à tração, ensaio este normalizado pela NBR 13749;
 - e) Após a escolha do tipo de serviço no qual será utilizado agregado reciclado e definido o traço, será possível analisar o melhor tipo de equipamento a ser utilizado (britador de impacto, britador de mandíbula, britador de martelo ou outros mais). Cada um destes equipamentos produz agregados reciclados com características diferentes, granulometrias distintas. Outro detalhe importante é que a escolha do equipamento está condicionada a quantidade de resíduo que se pretende reciclar diariamente e também ao local onde será feita a reciclagem, definindo assim o porte da máquina. Este local deverá ser próximo a um equipamento de transporte vertical;
 - f) Analisar a compra ou locação do equipamento. A compra envolve a questão de um custo fixo, estocagem para períodos de não utilização e manutenção por conta própria. Já na locação, a questão da manutenção fica por conta do locador. Em relação ao locatário, há segurança contratual da prestação de serviço e a definição de um preço fixo mensal;
 - g) Determinação de quando o equipamento entrará em operação. Apesar de haver geração de resíduo classe A durante toda a obra, há etapas que não viabilizam em função da baixa quantidade gerada. O momento ideal conforme verificado é após o início dos serviços de alvenaria;
 - h) Após iniciada a produção é necessário efetuar o controle dos resíduos reciclados, para que não haja a contaminação com outros a exemplo do gesso;
 - i) Determinar o momento de saída do equipamento. Em obras de estrutura reticuladas de concreto armado e que possuam paredes de vedação constituídas de blocos cerâmicos ou de concreto, o ideal é no término da alvenaria;

- j) Conscientizar e treinar a equipe de campo para que ocorra corretamente a segregação dos resíduos no canteiro.
- k) Por fim, buscar uma parceria de modo a criar uma relação comercial que seja vantajosa para ambos os lados no caso de equipamento locado. O preço de locação pode inviabilizar o processo em termos econômicos.

5. CONCLUSÃO

A partir deste estudo foi possível observar que uma das soluções para os problemas gerados pelos RCC é a sua reciclagem e que a construção civil tem um grande potencial de utilização destes agregados reciclados, uma vez que ela é uma grande consumidora dos recursos naturais.

Além disso, do ponto de vista técnico, as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam de acordo com a sua composição. Como foi visto no estudo de caso, uma das formas de amenizar esta variabilidade do resíduo é através da correta separação, e também promover utilizações de agregado reciclado que não tragam significativas alterações técnicas - a exemplo do que foi feito na argamassa para revestimento, no qual o novo traço, contendo agregado reciclado, não influenciou as características de trabalhabilidade e resistência de aderência em função da baixa quantidade dosada.

Não foi identificado no Estudo de Caso a caracterização do agregado reciclado e também do resíduo, sendo assim proposto a caracterização destes em estudos futuros. Em relação ao ensaio de aderência a tração, foi disponibilizado apenas um, sendo considerado insuficiente para uma avaliação mais ampla. Porém, segundo informações da construtora existem outros ensaios de aderência cujos resultados foram satisfatórios também. A construtora implantou em outros canteiros a reciclagem dos resíduos classe A e seu aproveitamento na produção de argamassa de revestimento.

Por fim, a reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente sofre com o consumo de matéria prima e a geração de resíduos. Ela reduz os problemas referentes aos impactos causados pela alta geração dos resíduos, seja pelo aumento da vida útil dos aterros, pela redução dos custos de gerenciamento ou redução dos descartes clandestinos que trazem consigo outros problemas conforme visto no trabalho.

A reciclagem transforma algo custoso, que é o resíduo, num produto, que passa a ter valor agregado. Além disso, os RCC gerados nos canteiros, transformados em agregado reciclado são apenas uma parcela dos agregados demandados pelo processo construtivo. Esta é sem dúvida uma das questões que diferenciam esta gestão diferenciada dos RCC. A gama de aplicação para o agregado reciclado é extensa e neste trabalho o foco fora o aproveitamento para a produção de argamassa de revestimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação**: NBR 10004. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. NBR 15112. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. NBR 15113. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. NBR 15114. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos**. NBR 15115. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. NBR 15116. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. NBR 13749. São Paulo, 2013.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia Sanitária Ambiental**, [S.l.], v. II, n.1, p. 65-72, jan./mar., 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n1/29139.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2013.

ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., Ibracon – Comitê Técnico 206. São Paulo, Jun. 2001, p. 43-56.

Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/Anais%20Comite%20CT%20206%20%20IV%20-%20semin%C3%A1rio.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2013.

BAIA; L. L. M. ; SABBATINI, F. H. **PROJETO E EXECUÇÃO DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA** – SÃO PAULO: O Nome da Rosa, 2002. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras.

BRASIL. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

Disponível em: < http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis_10.pdf>. Acesso em: 02 out. 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano / Secretaria Nacional de Habitação. Disponível em: < <http://www.pbqp-h.com.br/Programa.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2013.

BRITEZ, A. A. A GESTÃO DA QUALIDADE COMO FERRAMENTA PARA INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. In: Gerenciamento de Obras – Como garantir a entrega das obras dentro do prazo, preço e qualidade desejados. São Paulo, Editora PINI 2013.

BRITEZ, A. A. GESTÃO DE RESÍDUOS EM CANTEIROS DE OBRA. São Paulo, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável 2011.

CARELI, E. REUSO DE RESÍDUOS ALINHA ECONOMIA À BENEFÍCIO AO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <http://www.obralimpa.com.br/index.php/reuso-de-residuos-alia-economia-a-beneficios-ao-meio-ambiente/>. Acesso em: 25 jan. 2014.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. USO DO AGREGADO RECICLADO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 188 – 227, 2001.

CARNEIRO, *et al.* CARACTERÍSTICAS DO ENTULHO E DO AGREGADO RECICLADO. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 142 – 187, 2001.

CARNEIRO, A. P. REDUÇÃO, RECICLAGEM E REAPROVEITAMENTO – AÇÕES DE CIDADANIA. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 300 – 316, 2001.

CASSA, *et al.* Projeto entulho bom . Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. Bahia: Universidade Federal da Bahia, 2001. 316 p. Editado por CASSA, J.C.S.; CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S. Disponível em: http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/melhorespraticas/livros_melhores_praticas/livro_entulho_bom.pdf. Acesso em: 22 fev. 2014.

CASSA *et al.* DIAGNÓSTICO DOS SETORES PRODUTORES DE RESÍDUOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR/BAHIA. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 46 – 73, 2001.

CHAVES, A. P.; LINS, F. A. F.; TOREM, M. L. – BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS DE OURO. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfLzMAE/britagem-ouro>. Acesso em: 24 abr. 2014.

CYRELA CONSTRUTORA – PROCEDIMENTOS INTERNOS DE GESTÃO, ENSAIO E FOTOGRAFIAS

FARIA, A.M.; CUSSIOL, N.A.M; PINTO, J.M.A. DIAGNÓSTICO DA APLICAÇÃO DA RESOLUÇÃO Nº 307/2002 DO CONAMA, EM BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, BRASIL. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. ABES, 2007. Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/III-069.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2013

Fernandez, J. A. B. Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Brasília, 2012.

JOHN, V. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 26 – 43, 2001.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM RESÍDUOS DOMICILIARES. São Paulo, [ca. 2000] p. 1- 13. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>. Acesso em: 26 set 2013.

JOHN, V. M. **RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CONTRIBUIÇÃO À METODOLOGIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**. 2000. 113 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: < www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/livre%20docência%20vmjohn.pdf > Acesso em: 15 dez. 2013.

LEITE, M.B. **AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**. 2001. 290p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21839/000292768.pdf?sequence=1>. Acesso em: 31mar. 2014

LIMA, J.A.R. **PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA A PRODUÇÃO E NORMALIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO RECICLADO E DE SUAS APLICAÇÕES EM ARGAMASSAS E CONCRETOS**. São Carlos, 1999. 246p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. **AMBIENTE CONSTRUÍDO**, [S.l.], v. IX, n.1, p. 57-71, jan./mar., 2009.

MIRANDA, L. F. R. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil – Pesquisa setorial 2013 ABRECON. **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição**, São Paulo, 2013.

Miranda, L. F. R. **Estudo dos Fatores que Influem na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado**. São Paulo. 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

ORÇAMENTO CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2013/12/entenda-o-orcamento-de-2014-aprovado-na-camara-de-sp.html>. Acesso em: 8 mar. 2014.

PINTO, T. P. **GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ÁREAS URBANAS – DA EFICÁCIA A UM MODELO DE GESTÃO SUSTENTÁVEL**. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 76 – 112, 2001.

PINTO, T. P. METODOLOGIA PARA A GESTÃO DIFERENCIADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO URBANA. 1999. 190p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Disponível em: <http://www.casoi.com.br/hjr/pdfs/GestResiduosSolidos.pdf>. Acesso em 9 mar. 2014.

PIOVEZAN JUNIOR, G.T.A.; SILVA, C.E.. Investigação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria (RS). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24º, 2007, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: 2007. p.1–8. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/2007-Abes.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2014.

PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS DA CIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informmma/item/10050-s%C3%A3o-paulo-inicia-a-implanta%C3%A7%C3%A3o-do-plano-municipal-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acesso em: 28 abr. 2014.

SANTANA, M. J. A.; CARNEIRO, A. P., SAMPAIO, T. S. USO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO. **ENTULHO BOM**, Salvador, nº1, p. 262 – 299, 2001.

ROCHA, J.C.; CHERIAF,M. Aproveitamento de resíduos na construção. Utilização de resíduos na construção habitacional, v.4, n. 4, p. 72-93, 2007. Disponível em: http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/desenvolvimento_urbano/habitacao/Coletanea_Habitare_Volume_4_parte_04.pdf. Acesso em: 31 mar. 2013.

São Paulo (SP). SÃO PAULO. Secretarias /Serviços / Departamento de Limpeza Urbana / Entulho. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/entulho/index.php?p=4627>> Acesso em 10 set. 2014.

São Paulo (SP). SÃO PAULO. Secretarias /Serviços / Departamento de Limpeza Urbana / Ecopontos. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/ecopontos/index.php?p=4626> > Acesso em 10 set. 2014.

São Paulo (SP). Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/Manual_Residuos_Solidos.pdf>. Acesso em: 14 set. 2014.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI JUNIOR, A. GESTÃO PÚBLICA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Ambiente Construído, [S.l.], v. IV, n.4, p. 21-32, out./dez., 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3571/1977>>. Acesso em: 11 mar. 2014.

SINDUSCON-SP. **GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. A EXPERIÊNCIA DO SINDUSCON-SP**. São Paulo, 2005.

SOUZA *et al.* DIAGNÓSTICO E COMBATE À GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA PRODUÇÃO DE OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS: UMA ABORDAGEM PROGRESSIVA. *Ambiente Construído*, [S.l.], v. IV, n.4, p. 33-46, out./dez., 2004. Disponível em: < <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3573/1978>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

Trituradores de Roca, Formats Construction Machinery. Disponível em: <http://pt.trituradoras-de-roca.com/>. Acesso em: 12 jan. 2014.

VALENÇA, M. Z.; WANDERLEY, L. S. O.; MELO, I. V. **Gestão dos resíduos sólidos da construção civil: por uma prática integrada de sustentabilidade empresarial.** 2006. Trabalho apresentado ao 26º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, 2006. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR560372_7586.pdf>. Acesso em: 22 ago.2014.

ANEXO A

Relatório do ensaio de resistência de aderência à tração executado pela empresa Falcão Bauer.

Relatório de Ensaio nº CCC/261.867/1/13 Página: 1/3	
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº CCC/261.867/1/13	
REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	
INTERESSADO:	CYRELA CONSTRUTORA LTDA. Av. Eng. Roberto Zuccolo, 555 – 1º Andar, SL.1001 Vila Leopoldina – 05307 190 – São Paulo – SP Ref.: (06.145)
OBRA	MOOD Rua Álvaro de Carvalho, 341 – Centro. São Paulo – SP.
1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)	
Revestimento do empreendimento Mood, situado à Rua Álvaro de Carvalho, 341 – Centro – São Paulo – SP.	
2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)	
2.1. NBR 13.528/10 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.	
3. RESULTADO(S) OBTIDO(S)	
3.1. Determinação da Resistência de Aderência à Tração	
Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra analisada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.	

Painel 01 – Informações fornecidas pelo interessado.

- Local : 17º Andar – Apto 1701-A;
- Substrato : Concreto/ Alvenaria;
- Argamassa : 1:1:7;
- Chapisco : 1:3;
- Tipo de aplicação : Manual;
- Idade do revestimento : >28 dias;
- Tipo de corte : Seco;
- Equipamento de Tração : Dinamômetro Dinateste com célula de carga de 20 kN.

CP N°	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura (%)								Obs.
		Sub.	Sub./ Chap.	Chap.	Chap./ Arg.	Sub./ Arg.	Arg.	Arg./ Cola	Cola/ Past.	
01	0,04	-	-	-	100	-	-	-	-	Com Chapisco
02	>0,27	-	-	-	-	-	100	-	-	Com Chapisco
03	>0,39	-	-	-	-	-	100	-	-	Com Chapisco
04	>0,35	-	-	-	-	-	100	-	-	Com Chapisco
05	>0,34	-	-	-	-	-	100	-	-	Com Chapisco
06	0,09	-	-	-	100	-	-	-	-	Com Chapisco
07	>0,65	-	-	-	-	-	100	-	-	Sem Chapisco
08	0,44	-	-	-	-	-	-	100	-	Sem Chapisco
09	0,64	-	-	-	-	100	-	-	-	Sem Chapisco
10	0,91	-	-	-	-	100	-	-	-	Sem Chapisco
11	1,10	-	-	-	-	100	-	-	-	Sem Chapisco
12	0,57	-	-	-	-	100	-	-	-	Sem Chapisco
Tensão Média							0,48			
Desvio-padrão							0,31			
Coeficiente de Variação (%)							65			
Umidade do revestimento (%)							3,2			



Foto 01 - Visualização dos corpos de prova 01 ao 12 após ruptura

4. DATA DO(S) ENSAIO(S)

4.1. Ensaio realizado em 22/04/2013.

5. OBSERVAÇÕES

5.1. A NBR 13.749/95 estabelece que o revestimento para emboço e camada única, deve ser aceito, se do grupo de 06 (seis) ensaios realizados, pelo menos 04 (quatro) valores de resistência de aderência à tração, com idade igual ou superior aos 28 dias, forem iguais ou superiores aos identificados na tabela abaixo:

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	- Pintura ou base para reboco - Cerâmica ou laminado	$\geq 0,20$ $\geq 0,30$
	Externa	- Pintura ou base para reboco - Cerâmica	$\geq 0,30$ $\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

5.2. A NBR-13.528/10 estabelece que nos casos da ruptura ocorrer 100% na seção da argamassa, 100% no substrato ou 100% na camada superficial da argamassa, o valor obtido no ensaio deve ser apresentado precedido pelo sinal > (maior), haja vista que, a resistência de aderência à tração não tenha sido determinada e é maior do que o resultado do ensaio.

São Paulo, 09 maio de 2013.

L.A. FALCÃO BAUER LTDA
Centro Tecnológico de Controle da Qualidade

ORIGINAL ASSINADO POR

CLODOALDO FERREIRA DA SILVA
Técnico em Construção Civil
CREA nº 5063253854

L.A. FALCÃO BAUER LTDA
Centro Tecnológico de Controle da Qualidade

ORIGINAL ASSINADO POR

ENG.º DANIEL FRANCO DA SILVA
Coordenador de Unidade
CREA nº 5063702060

CEAM