



**Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO ENTULHO
RECICLADO COMO AGREGADO RECICLADO PARA USO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Ricardo da Silva Borges

TCC-EP-73-2006

**Maringá - Paraná
Brasil**

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO ENTULHO
RECICLADO COMO AGREGADO RECICLADO PARA USO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Ricardo da Silva Borges

TCC-EP-73-2006

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de
Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da
Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: Prof. MSc. Ederaldo Luiz Beline

**Maringá - Paraná
2006**

Ricardo da Silva Borges

**Análise de Viabilidade da Aplicação do Entulho Reciclado como
Agregado Reciclado para uso na Construção Civil**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. MSc. Ederaldo Luiz Beline
Departamento de Engenharia Civil, CTC

Prof (ª). Dra. Márcia Marcondes Altimari Samed
Departamento de Informática, CTC

Maringá, novembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Edson e a minha mãe Maria de Fátima, pela dedicação, paciência e apoio dado nesta minha jornada.

Ao meu irmão Rodrigo e a minha irmã Fernanda pela paciência.

A minha namorada Fabrícia, pelo apoio, paciência e pelo incentivo dado.

Ao professor MSc. Ederaldo Luiz Beline, pela orientação e apoio durante a execução deste trabalho.

E a Deus por não ter me faltado nas horas mais difíceis e principalmente por ter me dado a dádiva da vida.

RESUMO

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, e através deste observou-se que a sociedade está se tornando cada vez mais exigente em relação à questão ambiental. O entulho, resíduo das atividades de construção e demolição, apresenta-se como um dos principais problemas nas áreas urbanas, pois sua geração e descarte inadequado causam diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. As soluções para esses problemas passam por desenvolvimento e implantação de tecnologias adequadas, que busquem a redução, reutilização e reciclagem desse resíduo. O presente trabalho visa através de pesquisas bibliográficas e até mesmo na internet, analisar a viabilidade da aplicação do entulho reciclado como agregado reciclado para uso na construção civil. Este trabalho divide-se em quatro capítulos, constituídos por uma apresentação do problema e dos objetivos, da gestão dos resíduos de construção e demolição, do conceito de reciclagem e da conclusão.

Palavras-chave: Entulho. Reciclagem. Resíduos de Construção e Demolição. Agregado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 O PROBLEMA	01
1.2 OBJETIVOS	02
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	02
1.3.2 <i>Objetivo específico</i>	02
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	02
2 GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	03
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RCD	03
2.1.1 <i>Constituição e classificação dos RCD</i>	04
2.1.2 <i>Composição dos RCD</i>	07
2.1.3 <i>Legislação sobre a deposição dos RCD</i>	07
2.2 IMPACTOS GERADOS PELOS RCD	07
2.3 O PAPEL DO ESTADO NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS GERADOS PELOS RCD.....	08
3 O CONCEITO DE RECICLAGEM	10
3.1 RECICLAGEM DO RCD.....	10
3.2 CENTRAIS DE RECICLAGEM DO RCD	11
3.3 VANTAGENS DA RECICLAGEM DO RCD	11
3.4 APLICAÇÕES POTENCIAIS DOS RCD.....	13
3.5 UTILIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO EM CONCRETO	15
3.5.1 <i>Considerações gerais</i>	15
3.5.2 <i>Resistência à compressão</i>	16
3.5.3 <i>Retração por secagem</i>	17
3.5.4 <i>Módulo de elasticidade</i>	17
3.5.5 <i>Absorção de água, permeabilidade e carbonatação</i>	18
3.5.6 <i>Trabalhabilidade e consumo de cimento</i>	19
3.5.7 <i>Considerações sobre a aplicação do agregado reciclado em concreto</i>	20
3.5.8 <i>Usos possíveis para concretos com agregado reciclado</i>	20
3.6 UTILIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSA	21
3.6.1 <i>Considerações gerais</i>	21
3.6.2 <i>Resistência à compressão e módulo de elasticidade</i>	22
3.6.3 <i>Retração por secagem e absorção de água</i>	23
3.6.4 <i>Considerações sobre a aplicação do agregado reciclado em argamassa</i>	23
3.6.5 <i>Usos possíveis para argamassa com agregado reciclado</i>	24
4 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

REP – Responsabilidade Estendida ao Produtor

I&T – Informações e Técnicas em Construção Civil

MTR - Manifesto de Transporte de Resíduos

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - O Problema

A indústria da construção civil além de grande consumidora de recursos naturais é considerada uma grande geradora de resíduos, sendo motivo de diversas discussões quanto à necessidade de se buscar o desenvolvimento sustentável. Os resíduos de construção e demolição são basicamente formados por concreto, restos de argamassas, aparas de cortes efetuados em tijolos, azulejos, pisos e peças cerâmicas em geral, telhas, metais, madeira, gesso e pontas de ferragens. As alterações produzidas pela indústria da construção civil ocorrem na fase de implementação, execução, confecção de artefatos, terraplenagem com retirada de árvores, pavimentação de vias, limpeza da obra. Além disso, em toda a vida útil da obra são gerados resíduos, seja na fase de manutenção como na fase de reforma e adequação de uso da obra ou até na fase de desocupação e demolição, todo esse entulho é considerado como “lixo”. A forma de deposição e abandono dos resíduos gerados, principalmente em aterros clandestinos, pode degradar o meio ambiente. Portanto, a reciclagem desses resíduos tem como objetivo sua transformação em matéria-prima para a produção de novos materiais que podem estar compreendidos dentro dos chamados Materiais Alternativos para a Construção Civil.

Assim, começou a haver um interesse em saber a quantidade de resíduos gerados pela indústria da construção civil, que muitas vezes é inserido na discussão da redução de desperdícios. Este assunto também tem acirrado discussões sobre questões ambientais, uma vez que desperdiçar materiais, seja na forma de resíduos (mais comumente denominado entulho de construção) ou sob outra natureza, significa desperdiçar recursos naturais e também se soma a esse fato a escassez de locais para a deposição dos resíduos gerados, principalmente nos grandes centros urbanos o que ocasiona transtornos à população e demanda vultosos investimentos financeiros.

As ações com o objetivo de melhorar esta situação podem acontecer nas várias etapas do processo de produção, envolvendo diferentes agentes da cadeia produtiva, destacando-se medidas para a redução da geração de resíduos diretamente na fonte, reutilização ou reciclagem deles e, finalmente, na sua deposição adequada.

Assim, observa-se atualmente um grande potencial para a redução dos resíduos gerados na construção civil, seja por uma questão ambiental ou pela questão da competição entre as empresas construtoras.

1.2 – Objetivos

1.2.1 – Objetivo geral

Analisar a viabilidade da aplicação do entulho reciclado como agregado reciclado para uso na construção civil.

1.2.2 – Objetivo específico

Analisar a viabilidade da aplicação do entulho reciclado, com objetivo de utilizá-lo como agregado reciclado em argamassas e em concreto não estrutural.

1.3 – Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 é constituído por uma apresentação do problema da pesquisa, dos objetivos e da estrutura do trabalho.

O capítulo 2 é constituído pela caracterização, constituição e classificação, composição, legislação, pelos impactos gerados e pelo papel do Estado na solução dos problemas gerados pelos Resíduos de Construção e Demolição.

O capítulo 3 é constituído pela reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição, vantagens da reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição, aplicações potenciais dos Resíduos de Construção e Demolição, Utilização do Agregado Reciclado em Concretos e a Utilização do Agregado Reciclado em Argamassas.

No capítulo 4 foram feitas as conclusões finais da pesquisa desenvolvida.

CAPÍTULO 2 – GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.1 – Caracterização dos RCD

São considerados entulhos todos os materiais provenientes de restos de construção ou de demolição (RCD), possuem características bastante heterogêneas em relação aos resíduos industriais. John (1997) afirma que a caracterização do resíduo a ser estudado envolve aspectos químicos, físicos e de risco ambiental, tanto em seus valores médios como na sua dispersão ao longo do tempo.

É fundamental um estudo das características físico-químicas e das propriedades dos resíduos através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídios para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva à geração dos resíduos fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado.

A caracterização química deve incluir não apenas a composição química média, mas também a caracterização e quantificação de diferentes fases eventualmente presentes, incluindo teor de umidade e de voláteis presentes. Também deve considerar, sempre que pertinente compostos químicos que mesmo em baixas concentrações apresentam riscos aos trabalhadores, usuários e ao meio ambiente quando da produção, manipulação, utilização e deposição final. Isto se aplica, especialmente no caso de resíduos classificados como nocivos ao ambiente (JOHN, 1997).

O RCD apresenta sob a forma sólida, com características físicas variáveis, que dependem do seu processo gerador, podendo revelar-se tanto em dimensões e geometria como os insumos conhecidos da construção civil (areia, brita), ou ainda em formatos e dimensões irregulares, constituídos por pedaços de madeira, argamassas e concreto (SAPATA, 2002). A sua composição, quantidade produzida e características dependem de uma gama muito grande de fatores, tais como (CARNEIRO, 2001):

- O nível de desenvolvimento da indústria da construção local;
- qualidade da mão-de-obra disponível;

- técnicas empregadas na construção e demolição;
- adoção de programa de qualidade e redução de perdas;
- adoção de processos de reaproveitamento de material;
- Tipos de materiais predominantes na região;
- Desenvolvimento de obras especiais;
- Demanda por novas construções;
- Desenvolvimento econômico da região.

Quanto a sua característica de produção e os aspectos de heterogeneidade presentes deve-se lembrar que eles permitem fornecer ao entulho mudanças de propriedades, passando de inerte à não inerte, ou seja, durante a sua geração ele pode apresentar elementos que o tornem não inerte ou até mesmo perigoso, como por exemplo, a presença do amianto que é cancerígeno (ZORDAN, 1997).

2.1.1 – Constituição e classificação dos RCD

A constituição do entulho é heterogênea e dependente das características de cada construção e do grau de desenvolvimento da indústria em uma determinada região. Ele é constituído de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos e tintas) e sua composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes (ZORDAN, 2001). Estes são classificados, segundo a NBR 10.004 (1987) da ABNT como resíduos sólidos inertes – resíduos de Classe III. Entretanto, a classificação dos materiais pode variar segundo a obra que lhes deu origem. Uma obra pode produzir somente materiais inertes, outras, não inertes ou até mesmo perigosos, como é o caso do resíduo resultante do trabalho com telhas de amianto, cujo pó é altamente cancerígeno.

A Resolução nº. 307 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, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras

compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras”. A Resolução estabelece o prazo máximo de 12 meses para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, contemplando os pequenos geradores de entulho. Aos grandes geradores havia sido dado um prazo de dois anos (até janeiro de 2005) para que se incluíssem, em seus projetos de obras a serem submetidos à aprovação, o projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Atualmente os empreendedores de obras que excedam 600m² de área construída ou demolição com área acima de 100m² deverão apresentar o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, o qual deverá ser aprovado por ocasião da obtenção do licenciamento ambiental da obra ou da obtenção do alvará de construção, reforma, ampliação ou demolição. Os geradores cujas obras possuam área construída superior à 70m² e inferior à 600m² ou remoção de solo acima de 50m³ deverão preencher formulário específico, nas Secretarias Municipais de Urbanismo ou Meio Ambiente, na ocasião da obtenção do alvará de construção, reforma, ampliação e demolição ou do licenciamento ambiental. No caso de obras menores que 70m² que gerem acima de 501 litros equivalente a 0,501m³ de resíduos da construção civil, deverá o gerador assinar o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) emitido pelo transportador ou no caso de transporte próprio os resíduos deverão ser previamente separados e encaminhados para áreas devidamente licenciadas.

Buscando atender à necessidade de uma normalização específica para a política de gestão dos resíduos da construção civil, o CONAMA emitiu a Resolução nº 307, na qual estabelece que os resíduos da construção civil devem ser classificados da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem;
- De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolo, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;
- De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios) produzidas nos canteiros de obras.

II - Classe B – resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plástico, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

III - Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Esta Resolução também define a responsabilidade das prefeituras em apoiar o pequeno gerador e, como responsabilidade do grande gerador, o controle e manejo dos resíduos, tendo como principal objetivo a sua não geração. Por outro lado, a classificação em tipos diferenciados ajudará o controle e manejo adequado dos resíduos, bem como o melhor reaproveitamento, quando sua geração não puder ser evitada. Cabe, enfim, aos municípios, a partir de agora, imprimir em suas legislações o estímulo à não geração de resíduos como um fator primordial para a solução da questão, evitando o desperdício de recursos naturais, muitas vezes, não renováveis.

Grigoli (2001) classifica o entulho em duas porções bem caracterizadas: os entulhos não recicláveis e os entulhos recicláveis. Os entulhos recicláveis entendem-se como:

- A fração areias, as areias circuladas e perdidas no canteiro sem serem operacionalizadas;
- Da mesma forma pedras, as pedras circuladas e perdidas no canteiro sem serem operacionalizadas;
- O concreto, fração perdida quando da concretagem de peças estruturais, onde não são encontrados na forma estrutural, a não ser em pedaços de tamanhos variados, acessíveis a desmonte com auxílio de marretas e picaretas manuais;
- As cerâmicas, as perdas de blocos cerâmicos que na forma de entulho quando da operacionalização dos mesmos no canteiro, quando das quebras durante o assentamento e quando do corte das alvenarias para passagem de tubulações;
- As argamassas, as perdas de porções de argamassas de cimento, cal e areia utilizadas nos assentamentos de cerâmicas, no emboço e no reboco, argamassas de cimento e areia utilizadas nos chapiscos, assentamentos de batentes, esquadrias e revestimentos, assim como também, frações miúdas de concretos perdidos e/ou quebrados no canteiro;
- O vidro/cerâmica esmaltada, fração perdida quando dos acabamentos dos fechamentos em vidros e em cerâmicas de piso e paredes, sendo comum apresentarem-se em tamanhos cuja dimensão máxima não exceda a 100 milímetros;

- Os metais, fração perdida quando do corte com sobras de pontas de ferragem e arames de amarração.

2.1.2 – Composição dos RCD

A composição do RCD ocorre em função das características geográficas do local da construção, do tipo de construção, dos hábitos e costumes locais. Os RCD apresentam normalmente muita contaminação com solo, matéria orgânica, plásticos, podas de árvores, etc., em decorrência de sua disposição em caçambas, onde possibilita que a população local utilize-a como depósito de outros tipos de resíduos. Outro fator que contribui para a contaminação dos RCD seria a falta de treinamento dos operários das construções na separação e disposição intermediária.

2.1.3 – Legislação sobre a deposição dos RCD

De acordo com a Resolução nº. 307/02 do CONAMA, os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

- **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 sua utilização ou reciclagem futura.
- **Classe B:** deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
- **Classe C:** deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
- **Classe D:** deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

E no prazo máximo de dezoito meses os municípios e o Distrito Federal deverão cessar a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota-fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.

2.2 – Impactos Gerados pelos RCD

Segundo Pinto (1999) grande parte dos resíduos originados na construção civil é depositada clandestinamente em terrenos baldios, várzeas e taludes de cursos de água, provocando impactos ao meio ambiente. Alguns destes impactos são plenamente visíveis e provocam comprometimento à paisagem urbana e transtornos ao trânsito de veículos e pedestres. Quando não removidos pelo poder público, terminam por induzir a deposição de outros tipos de rejeitos como os originados de poda de árvores, objetos de grande volume como móveis e pneus, e eventualmente resíduos domiciliares. Possibilitam a proliferação de vetores de contaminação e quando levados pelas águas superficiais, obstruem as canalizações de drenagem.

Como a maioria dos municípios não possui áreas destinadas à recepção destes resíduos, estes são, muitas vezes dispostos em áreas de espraçamento de importantes cursos d'água, ocasionando enchentes e prejuízos para a sociedade. Por outro lado, quando destinados pelo poder público a aterros sanitários, terminam por encurtar o tempo útil de vida destes.

É comum também que os resíduos da construção venham acompanhados de materiais perigosos como latas de tinta e de solventes, restos de gesso, lâmpadas fluorescentes e outros resíduos que deveriam receber tratamento específico, antes de sua destinação final. A remoção dos entulhos dispostos irregularmente nas áreas de “bota-fora” das cidades, os transtornos sociais causados pelas enchentes e os danos ao meio ambiente, representam custos elevados para o poder público e para a sociedade, apontando para a necessidade do estabelecimento de novos métodos para a gestão pública de resíduos de construção e demolição.

2.3 - O Papel do Estado na Solução dos Problemas Gerados pelos RCD

De acordo com o Conama (2002) os governos em seus diferentes níveis (federal, estadual e municipal) podem e devem desempenhar um papel fundamental no apoio ao desenvolvimento de uma produção mais limpa na construção civil. Medidas como o estabelecimento de políticas que favoreçam a pesquisa e a produção de produtos mais duráveis, o uso de energia renovável, o incentivo à capacitação da mão-de-obra e a prática da reciclagem e o reaproveitamento dos materiais, são apenas algumas destas medidas.

A Responsabilidade Estendida ao Produtor (REP), é uma iniciativa legal destinada a responsabilizar os produtores pelo destino final do rejeito. Tal medida estimula o desenvolvimento de produtos duráveis, com componentes reutilizáveis e materiais passíveis de reciclagem. Completando e reforçando a REP, alguns governos, como os dos países nórdicos, estão gradualmente transferindo a arrecadação originada de impostos trabalhistas para taxas impostas à produção dos rejeitos de acordo com seu volume e grau de comprometimento ao meio ambiente.

Os governos devem ainda, promover o desenvolvimento de uma consciência conservacionista, através da inclusão da educação ambiental como matéria multidisciplinar em todos os níveis da educação formal e estimular sua inclusão nos cursos de gerenciamento comercial e de engenharia. Devem disseminar a informação sobre os danos causados ao meio ambiente pela disposição inadequada dos rejeitos e estimular o controle social sobre os resultados obtidos com uma nova visão para as práticas utilizadas na indústria da construção.

Em 5 de julho de 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através de sua Resolução 307, deu um passo importante no sentido de implementar diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil. Tal Resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão destes resíduos, disciplinando as ações necessárias e fixando as responsabilidades de forma a minimizar os impactos ambientais. Na Resolução os resíduos são classificados de acordo com sua potencialidade de reaproveitamento, reciclagem e periculosidade, definindo o destino adequado para cada um deles. Estabelece como instrumentos para a gestão dos resíduos os Programas de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, devendo o primeiro ser elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e o último elaborado e implementado pelos geradores de pequenos volumes, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local. Estabelece ainda prazos para que os poderes municipais e os geradores se adequem ao disposto na Resolução.

CAPITULO 3 – O CONCEITO DE RECICLAGEM

3.1 – Reciclagem dos RCD

Inicialmente, o processo de reciclagem surgiu com outros tipos de resíduos como, por exemplo, os domésticos (papel, plásticos, metais, etc.). No mundo a reciclagem do entulho de Construção Civil teve início a partir de 1946, no final da Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de reconstruir diversas cidades européias que tiveram seus edifícios demolidos. No Brasil a reciclagem de entulhos começou a ser estudada a partir de 1983 em Belo Horizonte (ÂNGULO, 1998).

Houve a necessidade de se criar usinas de reciclagem de entulho porque observou-se que parte significativa dos materiais que entra numa obra sai ao final na forma de lixo, mistura de cacos cerâmicos, argamassa, concreto, madeira, papel e terra, devido a isso os aterros estão ficando cada vez mais lotados e escassos.

A reciclagem de entulhos continua até os dias atuais principalmente pela necessidade de preservar recursos minerais não renováveis, suprir demanda de agregados onde existem problemas com escassez de matéria-prima, necessidade de preservação ecológica devido às grandes quantidades de entulho gerado, necessidade das empresas imporem como vantagem competitiva as questões ambientais. Além disso, a reciclagem de entulho introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso, transformando o entulho novamente em matéria prima, gerando aumento de competitividade às empresas da construção civil. A reciclagem desses resíduos pode ser um bom negócio, uma indústria lucrativa.

As centrais de reciclagem de RCD são operadas predominantemente pelas prefeituras municipais. Uma das deficiências das políticas de reciclagem de RCD, baseadas no modelo de centrais de reciclagem operadas pelas prefeituras é o decorrente risco de interrupção do funcionamento, dada à descontinuidade que caracterizam as ações das administrações públicas e com isto não existe a garantia de continuidade destas políticas (ÂNGULO, 1998).

Do ponto de vista financeiro, o sistema é interessante para as prefeituras porque permite a redução global dos custos, além dos ganhos ambientais associados. De acordo com Pinto (1999), a implantação e operação do sistema de gestão do RCD são compensados pela

redução da necessidade de coleta e disposição do RCD depositado ilegalmente e pela substituição de agregados naturais adquiridos de terceiros, pelos agregados reciclados para serem utilizados nas obras municipais.

3.2 – Centrais de Reciclagem dos RCD

De modo geral, os equipamentos utilizados na reciclagem de resíduos de construção são provenientes do setor de mineração, que são adaptados ou simplesmente utilizados na reciclagem. Uma exceção são os moinhos de rolo de pequeno porte utilizados para a preparação de argamassas a partir de resíduos de alvenaria, utilizados em construção de edifícios. Pelo pequeno porte, permitem boa mobilidade e a prática da reciclagem em diversos locais, em uma mesma empresa.

O procedimento básico da reciclagem consiste em britar o resíduo, obtendo agregado nas dimensões desejadas. Pode-se britar apenas uma vez o resíduo ou realizar mais de uma britagem, para diminuição das dimensões das partículas e para maior controle da granulometria do reciclado.

Pode-se implantar centrais de diversos portes e complexidades, dependendo da oferta de resíduos e demanda por agregado reciclado e das características desejadas para o produto (a maioria das centrais instaladas no Brasil são simplificadas, compreendendo alimentador, britador, transportador de correia e eletroímã). As principais características dos reciclados que são afetadas pelos procedimentos e equipamentos utilizados são: classificação e composição; teor de impurezas; granulometria; forma e resistência dos grãos.

3.3 - Vantagens Reciclagem dos RCD

Para Zordan (1997), reciclar o entulho independente do uso a que ele for dado representa vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como:

- Economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, pelo entulho;
- Diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas conseqüências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos;
- Preservação das reservas naturais de matéria-prima.

A reciclagem tem aparecido como a melhor solução para a minimização de problemas ambientais causados pelo consumo cada vez maior de matérias-primas virgens. A abordagem da reciclagem de um modo geral engloba sempre as vantagens ambientais trazidas com este processo. Entretanto, vale salientar que existem vantagens também econômicas e sociais que devem impulsionar a adoção do processo de reciclagem.

Sob o aspecto ambiental, a reciclagem seria uma boa alternativa por permitir a preservação ambiental, pois a utilização de materiais já utilizados anteriormente como matéria-prima reduziria significativamente o consumo de matérias-primas naturais, o que implicaria em uma possibilidade notável de preservação do meio natural. Entre as vantagens ambientais que seriam conquistadas com a implantação da reciclagem de entulhos, pode citar:

- Redução do consumo de energia;
- Redução da geração de poluição;
- Preservação de recursos naturais;
- Proteção do meio ambiente;
- Melhoria da qualidade de vida;
- Suprimento da demanda de agregados para solucionar problemas crônicos de escassez de matérias-primas;
- Redução do volume de resíduos que se acumulam nos aterros sanitários, já que boa parte destes seria destinada à reciclagem.

Economicamente, seria viável adotar a reciclagem, pois a extração de recursos naturais para serem utilizados como matéria-prima pode ser caracterizada como um processo que envolve altos custos, em contraposição ao reprocessamento de materiais utilizados que seriam desprezados como resíduos. A reciclagem de entulhos também seria viável e beneficiaria algumas entidades. Algumas das vantagens econômicas podem ser enumeradas:

- Para administrações municipais, ocorreria redução do custo da deposição e controle do entulho;
- Para o construtor, acarretaria na redução dos preços de produtos obtidos pela reciclagem e, desta forma obter-se-ia uma redução do custo final das construções.

Do ponto de vista social, há também a expectativa de que a reciclagem pudesse amenizar alguns problemas sociais, pois se tornaria um novo setor produtivo para a sociedade, que necessitaria de mão-de-obra, levantando então a possibilidade de geração de empregos.

Dado o exposto, fica evidente que a reciclagem de entulhos de construção civil é um processo extremamente vantajoso, do ponto de vista econômico, ambiental e social. Diante desta situação, só resta ao mercado de construção civil se empenhar na viabilização de processo de reciclagem para que se concretizem os ideais de criação de tecnologias para a utilização destes resíduos em uma nova função, sobretudo na confecção de blocos e painéis para a execução de obras de baixo custo.

3.4 – Aplicações Potenciais dos RCD

A aplicação dos produtos resultantes da reciclagem dos resíduos de construção e demolição é um fator decisivo na análise da viabilidade do processo de transformação do resíduo em um novo material. A reciclagem só é viável quando produz algum material que desempenhe um papel que compense todos os gastos com o processo produtivo.

De acordo com as características físico-químicas dos resíduos, são avaliadas as aplicações tecnicamente viáveis a partir de sua reciclagem. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as suas características. Assim, a aplicação não deve ser feita em torno de idéias pré-concebidas. Esta etapa requer uma grande variedade de conhecimentos técnicos, científicos e de mercado, exigindo o envolvimento de uma equipe multidisciplinar (ÂNGULO et al, 2002).

Do ponto de vista técnico, as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam de acordo com a sua composição. Quase a totalidade da geração cerâmica pode ser beneficiada como agregado com diferentes aplicações conforme sua composição específica. As frações compostas predominantemente de concretos estruturais e de rochas naturais podem ser recicladas como agregados para a produção de concretos estruturais. A presença de fases mais porosas e de menor resistência mecânica, como argamassas e produtos de cerâmica vermelha e de revestimento, provoca uma redução da resistência dos agregados e um aumento da absorção de água. Assim, agregados mistos têm sua aplicação limitada a concretos de menor resistência, como blocos de concreto, contra pisos e camada drenantes. Uma aplicação já tradicional no mercado, embora ainda que apresente problemas técnicos é a reciclagem destes resíduos mistos na produção de argamassas em canteiro, através de equipamento específico (JOHN e AGOPYAN, 2002).

Para John e Agopyan (2002) frações compostas de solo misturado a materiais cerâmicos e teores baixos de gesso, podem ser recicladas na forma de sub-base e base para pavimentação. As demais frações especialmente madeira, embalagens e gesso ainda não dispõem de tecnologia de reciclagem.

Pinto (1997) relata que o reciclado já vem demonstrando muito bom desempenho para uma série de usos, para as quais possibilita a obtenção de custos bastante vantajosos, sendo possível sua reutilização em diversos serviços como:

a) Utilização em pavimentação: A forma mais simples de reciclagem do RCD é a sua utilização em pavimentação (base, sub-base ou revestimento primário) na forma de brita corrida ou ainda em mistura de resíduos com solo. As vantagens são:

- É a forma de reciclagem que exige menor utilização de tecnologia ou que implica em menor custo no processo;
- Permite a utilização de todos os componentes minerais do RCD (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areias, pedras etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- Economia de energia no processo de moagem do RCD (em relação a sua utilização em argamassa), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece com granulometria graúda;
- Possibilidade de utilização de uma maior parcela do RCD produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração;
- Maior eficiência do resíduo quando adicionado aos solos saprolíticos¹ em relação à mesma adição feita com brita.

b) Utilização como agregado para o concreto: O RCD processado pelas usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para o concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (brita e areia). As vantagens são:

- Utilização de todos os componentes minerais do RCD (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areias, pedras etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- Economia de energia no processo de moagem do RCD (em relação a sua utilização em argamassa), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece com granulometria graúda;

¹ Camada de solo proveniente da decomposição da rocha matriz, herdando suas feições, com presença de minerais não estáveis. Heterogêneos e susceptíveis à erosão.

- Possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração;
- Possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento.

c) Utilização como agregado para a confecção de argamassa – Ao ser processado por equipamentos denominados argamasseiras, que moem o entulho na própria obra, em granulometria semelhante a da areia, que pode ser utilizado como agregado para a argamassa de assentamento e revestimento. As vantagens são:

- Utilização do resíduo no local gerador, o que elimina custos com transporte;
- Efeito pozolânico² apresentado pelo RCD moído;
- Redução no consumo do cimento e da cal;
- Ganho na resistência à compressão das argamassas.

d) Outros usos – utilização de concreto reciclado com agregado; cascalhamento de estradas; preenchimento de vazios em construções; preenchimento de valas de instalações e reforço de aterros.

O estudo de soluções práticas que apontem para a reutilização do entulho na própria construção civil contribui para amenizar o problema urbano dos depósitos clandestinos deste material, proporcionando melhorias do ponto de vista ambiental e introduz no mercado um novo material com grande potencial de uso (ZORDAN, 1997).

Para todas estas aplicações, é possível obter similaridade de desempenho em relação a produtos convencionais com custos muito competitivos (VAZ, 2001).

3.5 – Utilização do Agregado Reciclado em Concretos

3.5.1 - Considerações gerais

² É a combinação de substâncias constituídas de sílica e alumina, com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento formando compostos estáveis à água.

Hansen (*apud* LIMA, 1999) afirma que embora as especificações variem de país para país, pode-se identificar exigências gerais a que qualquer agregado deve atender que são: deve ser suficientemente resistente para o uso no tipo de concreto em que for usado; deve ser dimensionalmente estável conforme as modificações de umidade; não deve reagir com o cimento ou com o aço usado nas armaduras; não deve conter impurezas reativas; deve ter forma de partículas e granulometria adequadas à produção de concreto com boa trabalhabilidade.

Concretos com reciclado apresentam, em geral, características diferentes dos concretos convencionais, e o grau de diferença depende do tipo e qualidade do reciclado. Algumas características do concreto modificadas pelo uso de reciclado são: resistência mecânica; absorção de água, porosidade e permeabilidade; retração por secagem; módulo de elasticidade; fluência; massa específica.

As características dos concretos com reciclado variam mais que as de concretos convencionais, pois além das variações ligadas à relação a/c e ao consumo de aglomerantes, há ainda as mudanças determinadas por variações na composição e outras características físico-químicas dos resíduos reciclados, mas apesar disto pode-se obter concretos com reciclado adequados a diversos serviços de construção.

3.5.2 – Resistência à compressão

Concretos com reciclado apresentam resistência igual ou menor às de concretos convencionais. Em apenas alguns casos específicos a resistência pode ser maior. A perda de resistência de concretos com reciclado de concreto pode chegar a 30 %, enquanto que para concretos com reciclado de alvenaria pode chegar a 50 %, dependendo da composição e do consumo de cimento. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua qualidade e com o consumo de cimento (HANSEN *apud* LIMA, 1999).

De acordo com Schulz e Hendricks (*apud* LIMA, 1999) a perda de resistência com relação ao concreto convencional diminui com a diminuição do consumo de cimento. Isto ocorre porque em traços mais pobres o ponto fraco da matriz do concreto passa a ser a argamassa e não o agregado, como ocorre nos traços mais ricos. De uma maneira geral, quanto maior a

resistência dos grãos do reciclado, maior a resistência do concreto. Para resistências médias e altas, é necessário que se aumente o consumo de cimento para que o concreto com reciclado atinja as mesmas resistências que o convencional. Neste caso é necessário que analisem os impactos econômicos do aumento do consumo do aglomerante.

Com o agregado reciclado, é possível obter-se concretos com alta resistência à compressão, mas para isto é necessário que se utilizem resíduos de concreto estrutural de boa qualidade (alta resistência e baixa relação água/cimento) e que se controle rigorosamente o processo de reciclagem e a qualidade do agregado obtido. Em situações práticas de uso do reciclado uma das maiores dificuldades é a manutenção de composição e qualidade uniformes.

3.5.3 – Retração por secagem

Hansen (*apud* LIMA, 1999) apresenta resultados de ensaios de concretos com reciclados de concreto que demonstram que a retração é maior neste caso que no concreto convencional em função da argamassa aderida. Em concretos com reciclado graúdo o aumento variou de 20% a 50 %, conforme o ensaio. Quando se usou reciclado graúdo e miúdo, a retração aumentou entre 70% a 80 %. De acordo com estudos realizados, a retração aumenta com o aumento da resistência do concreto com reciclado.

No caso de concretos com reciclado de alvenaria, a retração, após um ano, não aumenta tanto com relação à do concreto convencional, segundo resultados apresentados por Schulz e Hendricks (*apud* LIMA, 1999). De acordo com pesquisadores, era de se esperar que a retração de concretos com reciclado de alvenaria fosse maior, devido ao fato dos grãos do agregado oferecerem menor resistência aos esforços de retração da pasta de cimento, pelo seu menor módulo de elasticidade. Alguns pesquisadores dizem que o período de um ano é insuficiente para a medição da retração por secagem, a qual não ocorre em baixas idades pela presença de água no interior dos grãos do reciclado.

3.5.4 – Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade de concretos com reciclados é em geral menor que o de concretos convencionais, mesmo que se utilize reciclado de concreto. Isto pode ser explicado pela presença de argamassa aderida no reciclado, que apresenta menor módulo de elasticidade e

baixa o módulo do concreto. Por isso, a aplicação da parcela miúda do reciclado é prejudicial, pelo seu maior teor de argamassa aderida (LIMA, 1999).

O módulo de elasticidade de concretos com reciclado de concreto pode ser menor que o do concreto convencional de 15 % a 40 %, segundo resultados de várias pesquisas. Quando se substitui o reciclado miúdo por areia convencional, a redução nos valores são menores (LIMA, 1999).

O módulo de elasticidade de concretos com reciclado de alvenaria pode apresentar valores correspondentes a 43 % a 50 % do módulo de concreto convencional (LIMA, 1999). Considerando a diferença de resistência mecânica entre o reciclado de alvenaria e o de concreto, é esperado que o concreto preparado com reciclado de alvenaria apresente módulo de elasticidade menor que do que o concreto preparado com reciclado de concreto.

3.5.5. Absorção de água, permeabilidade e carbonatação

Sendo o agregado reciclado mais absorvente que o convencional, concretos com o material apresentam absorção maior que o concreto convencional. Utilizando reciclado de concreto, a absorção tende a ser menor que quando se usa reciclado de alvenaria, embora ainda maior que a de concretos convencionais.

I&T (*apud* LIMA, 1999) estudou a absorção de água por concretos com reciclados de alvenaria, de dois tipos: composto predominantemente de argamassas e concretos (Resíduo 1); composto predominantemente de materiais cerâmicos (Resíduo 2). As absorções de concretos convencionais com consumos entre 200 e 400 kg/m³ situaram-se entre 5,8 % e 8,1 %, enquanto que as de concretos com resíduo 1 e resíduo 2 apresentaram valores médios próximos a 11 % e 13 %, respectivamente.

Barra (*apud* LIMA, 1999) determinou a absorção de água de concretos com reciclado de concreto, e observou-se que para concretos convencionais a taxa de absorção situa-se em entre 5% e 6%, enquanto que os concretos com reciclado de concretos apresentaram maiores taxas de absorção que os convencionais, situando-se entre 8 % e 9 %. Segundo o autor da pesquisas a diferença entre os valores da por ele encontrado e os valores encontrados pelo I&T deve-se principalmente ao fato dele ter usado reciclado de concreto.

A permeabilidade está indiretamente ligada á absorção da água, e a deterioração de concretos dependem, em parte, da permeabilidade, pois a penetração de água é uma das condições para que alguns mecanismos de deterioração sejam efetivados. Estudos mostram que a permeabilidade de concretos com reciclado de concreto é 2 a 5 vezes maior que a de concretos convencionais. Quando se compara concretos com baixa relação água/cimento, a diferença entre concreto com reciclado e com agregado convencional é maior, sendo a alta absorção do reciclado um fator negativo (LIMA, 1999).

Estudos indicam que a corrosão das armaduras em concretos com reciclado de concreto ocorre mais rapidamente que em concretos convencionais. Isto pode ser modificado com o uso de menores relações água/cimento. O tempo de início de corrosão de barras de aço é praticamente igual para concretos com reciclado e convencional, mas se for utilizado entulho de alvenaria o tempo é um pouco menor. Uma vez que a corrosão se inicie, a taxa de corrosão independe do tipo de agregado. Os fatores mais importantes são relação água/cimento, consumo de cimento e espessura do cobrimento (LIMA, 1999).

3.5.6 – Trabalhabilidade e consumo de cimento

Um fator negativo ligado à relação água/cimento em concretos com reciclado é o fato de ser necessário, em alguns casos, maior quantidade de água livre para se atingir a mesma trabalhabilidade. Isto ocorre porque o reciclado de concreto apresenta grãos mais ásperos e concretos elaborados com o material requerem mais água para alcançar o mesmo abatimento que o concreto convencional.

Para concretos com reciclado graúdo e areia natural é necessário mais 5 % de água. Logo, é também requerido 5 % a mais de cimento para que o concreto obtenha pelo menos a mesma resistência do concreto convencional. Quando se usa reciclado graúdo e miúdo é necessário que se aplique mais 15 % de cimento no concreto. Entretanto, em situações práticas é necessário ainda mais cimento, já que os miúdos reduzem a resistência do concreto em pelo menos 10 % e no pior caso em 50 %. Concretos com reciclado graúdo e miúdo tendem a ser menos trabalháveis e não são adequados para aplicação com alguns equipamentos. Isto pode ser corrigido pela adição de areia natural (LIMA, 1999).

Entretanto, para reciclados de concreto ou alvenaria, a influência do agregado na trabalhabilidade dependerá da granulometria. Utilizando-se a parcela graúda, é de se esperar uma piora nesta propriedade (que talvez deva ser compensada pelo acréscimo de cimento), pela maior aspereza do reciclado. Quando se aplica a parcela miúda pode-se obter melhorias na trabalhabilidade, pelo alto teor de finos do material, embora se prejudiquem outras características do concreto.

Pode-se afirmar que é possível obter-se concretos com a mesma trabalhabilidade que a dos concretos convencionais mesmo que isto signifique acréscimo na quantidade de água ou aumento no consumo de cimento, em alguns casos.

3.5.7 - Considerações sobre a aplicação do reciclado em concretos

De acordo com Lima (1999) analisando-se as informações obtidas sobre o reciclado, pode-se afirmar que o material é adequado à preparação de concretos. Para uso em concreto estrutural as incertezas são ainda maiores, portanto é recomendado que se evite a execução para esse fim até que o conhecimento sobre este uso esteja consolidado e que material adequado seja produzido em quantidade e qualidade suficientes para viabilizar a aplicação.

Entretanto, mesmo nos usos simplificados, há a necessidade de se tomar cuidados que garantam a qualidade dos serviços. Devido à heterogeneidade do reciclado, não é possível a fixação de parâmetros válidos para todos os casos. Em geral pode ser necessária a determinação de características específicas do material antes de sua utilização. Portanto é desejável que se determine pelo menos as seguintes características do material: resistência mecânica, permeabilidade, módulo de elasticidade, composição, teor de contaminantes, granulometria e absorção de água.

Conhecidas algumas propriedades do reciclado e do concreto com reciclado, deve-se analisar os usos pretendidos para avaliar se o concreto atende às exigências de qualidade e durabilidade. De maneira geral, deve-se analisar se as características do concreto (resistência mecânica, retração, etc.) são adequadas às solicitações do serviço em que o concreto será aplicado, se a aplicação da parcela miúda do material é recomendável, e se as condições específicas para a execução do serviço (podem ser necessárias mudanças na geometria em função da maior retração por secagem, menor módulo de elasticidade, etc.).

3.5.8 - Usos possíveis para concretos com agregado reciclado

O concreto reciclado pode ser utilizado como concreto de baixo consumo não armado, porque para a confecção este tipo de concreto pode-se utilizar reciclado produzido atualmente, porém deve-se considerar a alta taxa de absorção dos agregados e conseqüentemente do concreto ao se determinar o serviço em que será utilizado. Possivelmente em alguns serviços com exposição a altas taxas de umidade, como contrapisos e calçadas, deverão ser tomados cuidados para evitar problemas de durabilidade (aumento das espessuras, redução da distância entre juntas etc.). Com o avanço da reciclagem e produção de reciclados de classes diferentes, poderão ser encorajados usos em concretos armados de baixa responsabilidade estrutural em serviços com baixa probabilidade de corrosão das armaduras (baixa umidade, peças revestidas etc.) (CARNEIRO, 2001).

Também o concreto com reciclado produzido atualmente pode ser utilizado na produção de pré-moldados de concreto como tijolos maciços, blocos, tubos, meio-fio e outros componentes para infra-estrutura urbana. Deve-se analisar os efeitos da composição do reciclado e da sua alta taxa de absorção na durabilidade dos componentes. Não se aconselha o uso em peças armadas (ZORDAN, 1997).

3.6 – Utilização do Agregado Reciclado em Argamassas

3.6.1 - Considerações gerais

Uma das formas de reciclagem dos resíduos de construção e demolição destina-se à sua utilização em argamassas. A fração fina do material reciclado obtido da britagem ou moagem do RCD, a depender das suas características, pode ser utilizada nas argamassas, em substituição às adições ou aos agregados convencionais. A granulometria semelhante à da areia permite o seu uso como agregado para argamassas de assentamento e revestimento, as quais têm apresentado desempenho similar ou superior às convencionais (CARNEIRO et al., 2001).

A resistência mecânica de argamassas com reciclado é maior que a de argamassas convencionais, na maioria das vezes. Com seu uso, obtêm-se boa aderência aos substratos, boa consistência e coesão. Em função destas características, seu uso é promissor, podendo-se

obter compostos de boa qualidade com redução do consumo de aglomerantes. Em alguns casos, porém, têm ocorrido patologias, possivelmente associadas ao reciclado.

Apesar das vantagens, o uso do reciclado em argamassas pode causar retração por secagem, conforme o tipo de resíduo utilizado e o traço aplicado. Usuários de argamassas com reciclado utilizam traço com teor considerável de areia convencional, para evitar problemas, e com isso podem não estar aproveitando bem todas as possibilidades do resíduo.

3.6.2 - Resistência à compressão e módulo de elasticidade

Em alguns casos argamassas com reciclado apresentam resistências à compressão maiores que argamassas convencionais. Alguns pesquisadores atribuem isto à atividade pozolânica dos materiais cerâmicos finamente moídos, que também funcionam como filler, diminuindo os espaços vazios da matriz e aumentando sua resistência à compressão. Argamassas com reciclado de materiais cerâmicos apresentam maiores resistências que argamassas convencionais ou com reciclado à base de argamassas ou concretos.

Lima (1999) apresenta resultados de pesquisa em que se estudou o efeito da adição do resíduo na resistência à compressão de argamassas. Não é informada a composição do resíduo usado (se de componentes cerâmicos ou de concreto). A relação cimento:agregado foi igual nos dois tipos de argamassa (1:8, em volume), sendo que a preparado com reciclado não recebeu cal hidratada, mas apenas cimento. Pode-se observar que aos 7 dias a argamassa produzida com entulho atingiu uma resistência de 4 MPa, enquanto que a argamassa produzida de forma convencional atingiu 1,2 MPa. Também se pode observar que aos 28 dias a argamassa produzida com entulho atingiu uma resistência de 7,9 MPa, enquanto que a argamassa produzida de forma convencional atingiu resistência de 2,7 MPa.

Realizaram-se também algumas pesquisas sobre os módulos de elasticidade de argamassas com reciclado, e se pode observar, que os módulos de argamassas com reciclado são maiores que os das argamassas convencionais, nestas pesquisas. As diferenças foram significativas (os módulos de elasticidade de argamassas com reciclado são 50 % a 70 % maiores que os de argamassas convencionais).

3.6.3. Retração por secagem e absorção de água

De acordo com alguns resultados pode-se observar que as argamassas que apresentaram maiores retrações por secagem foram aquelas com maior teor de resíduos VII (cimento, cal, bloco de concreto, bloco cerâmico) e aquelas contendo tijolos cerâmicos maciços. No caso de argamassas contendo tijolos cerâmicos maciços a retração relativamente grande, já que este tipo de resíduo apresenta absorção significativa. A retração observada em alguns casos é bem superior à das argamassas convencionais.

Pinto (*apud* LIMA,1999), em suas pesquisas, determinou a absorção de água de argamassas com reciclado, chegando à conclusão, como era de se esperar, que argamassas com resíduos apresentam maior absorção que as convencionais, e que com o aumento do teor de materiais cerâmicos nos resíduos utilizados, aumenta também a absorção de água das argamassas.

3.6.4 - Considerações sobre a aplicação do reciclado em argamassas

Analisando as informações obtidas sobre argamassas com agregado reciclado, pode-se afirmar que o material pode ser utilizado na aplicação em serviços de construção. Os serviços em que as argamassas podem ser aplicadas em uma obra são variados, com condições diferenciadas de aplicação e exposição. Modificações nos traços ou falhas na análise da viabilidade técnica podem ocasionar patologias. Podem ocorrer problemas devido a altos teores de impurezas ou de finos, à falta de uniformidade de agregados (composição, granulometria, teor de impurezas etc.), que podem dificultar o controle tecnológico e prejudicar a qualidade dos serviços (GRIGOLI, 2001).

Para que se possam identificar os serviços onde aplicar argamassas com reciclado e estabelecer procedimentos de preparação e aplicação, algumas ações podem ser implementadas:

- Caracterização dos diversos tipos de reciclado possíveis de serem obtidos com os resíduos da construção e estabelecimento de sistema de classificação para o reciclado;
- Pesquisa das propriedades físicas e químicas dos agregados de diversas classes, para conhecimento do material;
- Pesquisa de argamassas com reciclado, principalmente na determinação das propriedades físicas e químicas das argamassas com reciclado, na identificação dos serviços em que as

argamassas com reciclado podem ser aplicadas, em função de suas propriedade e das condições de exposição, e a determinação de traços a serem adotados para os diversos serviços, para garantir qualidade, com o maior consumo de reciclado possível.

3.6.5 - Usos possíveis para argamassas com agregado reciclado

Argamassas com agregado reciclado apresentam melhoria em algumas propriedades, em relação às argamassas convencionais, como aumento da resistência mecânica com mesmo consumo de aglomerantes. Considerando possíveis problemas como maior retração por secagem, ausência de informações consolidadas sobre argamassas com reciclado e heterogeneidade inerente aos resíduos, a indicação de aplicações para argamassas com o material deve ser feita com cautela.

É sugerida a relação de serviços para os quais é considerada viável a aplicação de argamassas com reciclado e a ampliação da relação dos usos indicados será mais segura se baseada em resultados de estudos experimentais:

- Assentamento de componentes em alvenaria não estrutural, preferencialmente em locais não sujeitos a umidade significativa;
- Emboço interno de paredes e tetos (evitando-se uso em ambientes com presença de umidade como banheiros e áreas de serviço);
- Pisos e camadas de regularização de pisos.

CAPITULO 4 – CONCLUSÃO

Os resíduos de construção e demolição são tidos como um dos grandes problemas no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, pois sua deposição em aterros torna-se onerosa em função de seu grande volume. A reciclagem do resíduo de construção e demolição surge como uma alternativa para amenizar tal problema, pois representa diminuição do volume de entulho que deve ser levado à disposição final em aterro.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição apresenta vantagens econômicas, sociais e ambientais: economia para as prefeituras pela diminuição do volume de resíduos a ser coletado e depositado em locais adequados; economia para o construtor que conseguiria executar obras a menores custos utilizando materiais reciclados; minimização da necessidade de áreas para aterro sanitário; redução dos custos de materiais de construção provenientes da reciclagem; redução de consumo de materiais não-renováveis, quando estes forem substituídos por resíduos como matéria-prima na elaboração de produtos; preservação do meio ambiente natural; redução da poluição e suprimento da demanda de agregados.

O potencial de reutilização dos resíduos de construção e demolição é evidente, em razão dos benefícios que são obtidos a partir da reciclagem dos mesmos. Assim sendo, é evidente a necessidade de desenvolvimento de políticas que propiciem e incentivem a reciclagem dos resíduos de construção e demolição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S. C. **Produção de concretos de agregados reciclados**. 1998. Trabalho (Graduação em Engenharia Civil) – UEL, Londrina.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. (2002). Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br>>. Acesso em: 15 julho de 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – classificação: NBR 10004**. São Paulo, 1987.

CANTELLI, M. et al. **Gerenciamento de resíduos e certificação ambiental**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2000. 399p.

CARNEIRO, A. P. et al. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**. Salvador, Bahia, 2001, 312p, EDUFBA.

GRIGOLI, A.S. **Entulho de Obra – reciclagem e consumo na própria obra que gerou** (2001). Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho/artigos>>. Acesso em: 15 julho de 2006.

JOHN, V.M. **Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos**. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1997. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 21 – 30.

JOHN, V. M; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduos da Construção**. (2002). Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho/artigos>>. Acesso em: 15 julho de 2006.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**: Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. 2000, 113p. Tese (Livre Docência) – USP, São Paulo.

LIMA, J. A. R. **Proposição de Diretrizes para Produção e Normalização de Resíduos de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos.** 1999, 222p. Dissertação (Mestrado) – USP, São Carlos.

PINTO, T. P. **Metodologia para Gestão Diferenciada de Resíduos Sólido da Construção Urbana.** 1999, 189p. Tese (Doutorado) – USP, São Paulo.

PINTO, T. P. **Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil.** In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1996. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 159 - 170.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, responsabilidades e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 17 abril de 2006.

SAPATA, SÔNIA MOREIRA MOLINA. **Diagnóstico e proposta para gerenciamento do resíduo da construção civil no Município de Maringá/PR.** 2002, 170p. Dissertação (Mestrado) – UFSC, Florianópolis.

VAZ, J. C. **Reciclagem de entulho.** (2001). Disponível em: <<http://www.federativo.bnds.gov.br/dicas/entulho.html>>. Acesso em: 20 julho de 2006.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** 1997, 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Unicamp, Campinas.

ZORDAN, S. E. **Entulho da Indústria da Construção Civil.** (2001). Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.html>>. Acesso em: 15 julho de 2006.