

CONCRETO SUSTENTÁVEL APLICADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Antônio Vitor Barbosa Fernandes¹ | José Ricardo Ribeiro Amorim²

Engenharia



RESUMO

Os avanços da tecnologia e do sistema econômico globalizado proporcionaram uma produção em larga escala de todos os setores. A construção civil está entre os mais importantes investimentos, pois está presente em qualquer desenvolvimento urbano. Assim tornou-se responsável por praticamente a metade do consumo de recursos naturais, gerando preocupação para os ambientalistas, não só pela extração da matéria-prima, mas também pelos processos de fabricação dos materiais. Desse modo, com o advento da sustentabilidade, foram realizadas várias pesquisas voltadas para o reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos descartados nas obras ou gerados pela demolição, em especial para o concreto, principal componente da construção. Alguns aspectos foram identificados como necessários para um gerenciamento mais adequado: uma fiscalização mais eficaz ou novas formas de fiscalização podem reduzir o número de deposições clandestinas; um contínuo investimento na educação da população para tomada de consciência; a adoção de novas diretrizes que também objetivem a minimização dos resíduos, o que implicaria na diminuição de resíduo entrando no sistema de limpeza urbana. Os resultados encontrados são favoráveis em termos de viabilidade e economia, porém em alguns países ainda se encontram dificuldades em relação à gestão desses resíduos por ser algo relativamente recente.

PALAVRAS-CHAVE

Construção Civil. Sustentabilidade. Reaproveitamento de Resíduos. Concreto.

ABSTRACT

The globalized economic system and advanced technology provided a large-scale production in all sectors. Building is one of the most important investments because that is in any urban development. So became responsible for virtually the half of natural resource consumption, bringing worry to the environmentalists, not only the extraction of raw materials, but also the manufacturing processes of materials. Thus, with the advent of sustainability were performed several research about the reuse or recycling of waste disposed in works or generated by the demolition, especially for the concrete, the main component of construction. Some aspects were identified as necessary for a more appropriate management: a more effective or new forms of surveillance can reduce the number of clandestine depositions; continued investment in public education for awareness, the adoption of new guidelines that also objectify the minimization of waste, which would result in a decrease of waste entering the urban cleaning system. The results are favorable in terms of feasibility and economics, but in some countries are still difficulties in the management of such waste to be something relatively recent.

KEYWORDS

Building. Sustainability. Reuse of Waste. Concrete.

1 INTRODUÇÃO

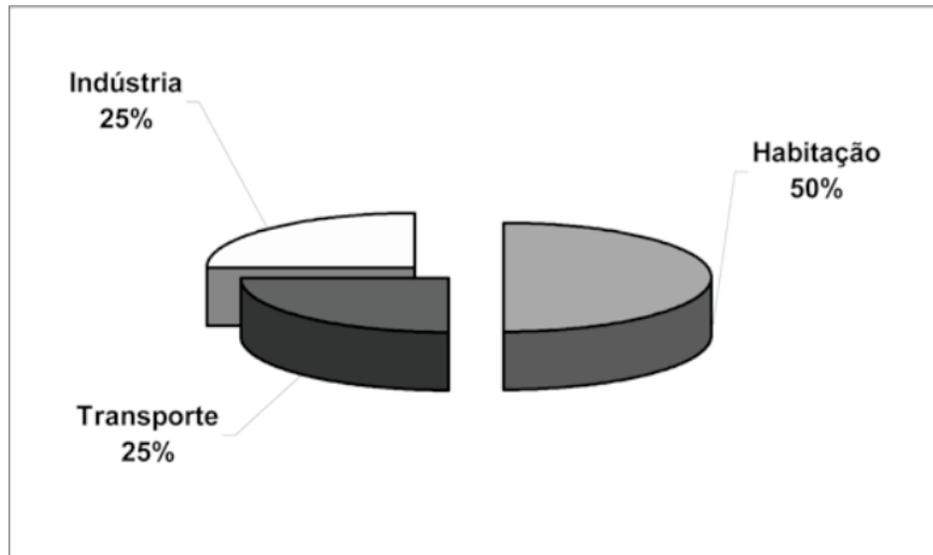
O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização e a revolução tecnológica causaram alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população. Como decorrência direta desses processos, vem ocorrendo um aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade, principalmente nos grandes centros urbanos. Além do acréscimo na quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas ao cotidiano (FERREIRA e ANJOS, 2011).

Diariamente, são coletadas no Brasil entre 180 e 250 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) e estima-se que a geração dos resíduos sólidos oriundos da construção e demolição (RCD) seja na ordem de $68,5 \times 10$ t/ano (ÂNGULO et al., 2002; IBGE, 2010). Em cidades brasileiras de médio e grande porte, os resíduos das construções civis (RCC) variam entre 45% a 70% da massa total dos RSU gerados em Salvador, entretanto a Prefeitura de São Paulo, que gerencia 40% dos RCC, tem uma estimativa de 280 kg/hab.ano (RESÍDUOS., 2003). Quando ignorados pelas prefeituras, os RCD são responsáveis por deposições ilegais tanto no Brasil como no exterior (PINTO, 1999). A imprecisão nessa estimativa se deve a diferentes metodologias empregadas nos levantamentos realizados e as dificuldades inerentes a essa avaliação.

O setor da construção civil é responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais, e com certeza é o maior gerador de resíduos de toda a sociedade (JOHN e AGOPYAN,

2013). Além disso, a habitação consome muita energia em todo o seu ciclo de vida, como pode ser visto na Figura 1, que mostra a maneira como se consome energia no Planeta, sendo que a habitação é responsável por 50% desse consumo.

Figura 1 – Consumo energético mundial



Fonte: Azevedo e outras, 2006.

A perspectiva de aumento no número resíduo sólido tem gerado estudos em vários países, quanto às possibilidades de reaproveitamento desses resíduos como agregados (PEREIRA et al., 2012). Comparado a países de primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço (ÂNGULO et al., 2001).

Segundo Pinto (1999), é aceitável a afirmação de que a perda varia entre 20 e 30% da massa total de materiais para a construção empresarial (construção residencial em edifícios), a depender do nível tecnológico do construtor.

As atividades de construção demandam uma quantidade notável de materiais inertes, tais como areia e cascalho, usualmente fornecidos por meio da extração de sedimentos aluviais, que modifica o perfil e o equilíbrio dos rios, além de introduzir problemas ambientais, tais como modificações em sua estrutura hidrológica e hidrogeológica. A extração de material inerte de formações rochosas em áreas acidentadas e montanhosas, também, é uma atividade danosa ao meio ambiente, pois altera e desestabiliza a paisagem (BIANCHINI et al., 2005). Por isso a substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados apresenta diversas vantagens, como economia na aquisição de matéria-prima, redução da poluição gerada pela produção dos agregados e melhora na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta (PEREIRA et al., 2012).

As características dos resíduos usados influenciam em muitas das propriedades do concreto com agregados reciclados. As alterações podem ser percebidas tanto no estado

fresco como no estado endurecido do concreto moldado a partir de resíduos. As características do agregado reciclado, incluindo alta porosidade e elevado nível de impurezas, afetam a resistência mecânica de concretos produzidos com esses materiais e limitam suas aplicações (PEREIRA, 2012).

As principais aplicações do RCD e dos agregados reciclados de concreto (ARC) ocorrem em bases e sub-bases de pavimentação (POON et al., 2006). Os processos e custos de transporte, moagem e separação do agregado de concreto, entretanto, são fatores limitantes para a aplicação. Perante essa ótica, a utilização do ARC em aplicações mais nobres, como na fabricação de novos concretos, é uma alternativa interessante.

Deste modo, o objetivo central deste trabalho é avaliar a aplicação da reciclagem do concreto na construção civil diante das novas tendências de preservação ambiental e de ordem econômica, mostrando as vantagens e dificuldades deste processo, observando as recomendações da Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), os resíduos de construção civil são:

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

Do ponto de vista ambiental, o principal problema com os resíduos sólidos oriundos da construção e demolição (RCD) e os resíduos das construções civis (RCC) está relacionado à sua deposição irregular que na maioria dos municípios brasileiros são depositados em botafora clandestino, nas margens de rios e córregos ou em terrenos baldios, gerando grandes volumes (JOHN e AGOPYAN, 2013). No Brasil, os números estimados por PINTO (1999) para cinco cidades médias variaram entre 10 e 47% do total gerado. De acordo com John e Agopyan (2013) estes resíduos quando são depositados irregularmente promovem enchentes, proliferação de vetores nocivos à saúde, interdição parcial de vias e degradação do ambiente urbano.

Acrescentando, Gouveia (2012) relata que o grande desafio para as grandes cidades na gestão de resíduos sólidos, neste início de século, pode ser enfrentado pela elaboração de políticas públicas que tenha como objetivos a eliminação dos riscos à saúde e ao ambiente, colaborando com a suavização das mudanças climáticas relacionadas à ação humana e, ao mesmo tempo, garantindo a inclusão social efetiva de parcelas significativas da população.

O grande desperdício de materiais na construção civil brasileira é muito elevado. Carneiro e outros autores (2001 apud MOTTA e FERNANDES, 2003), relatam que os resíduos gerados nessa atividade possuem uma considerável heterogeneidade em termos da sua composição. Sua quantidade varia de 54% a 70% dos resíduos sólidos urbanos de cidades brasileiras, como o Rio de Janeiro e Belo Horizonte, representando uma geração per capita entre 0,4 e 0,76 t / hab./ano (MOTTA; FERNANDES, 2003).

Schuchovski (1995) considera importante fazer distinção entre perdas e desperdícios. Segundo ele, as perdas de materiais, tempo e dinheiro, são decorrentes de diversos fatores, entre eles o desperdício puro e simples. Ele considera que o desperdício de 30 % preconizado pelo setor da construção civil, deve ser considerado como perdas, e apenas 3,5% (em relação ao custo final das obras) podem ser vistos como desperdícios (jogar fora por desídia, descuido, relaxamento e mau gerenciamento).

Segundo Leal (2001) estima-se que no Brasil em média 65% do material descartado é de origem mineral, 13% madeira, 8% plásticos e 14% outros materiais. Estima-se, também, que argamassa, concreto e cerâmica vermelha correspondem, juntos, a mais de 60% do total do RCD gerado (CABRAL, 2007), enquanto que na Europa, esses materiais correspondem a algo em torno de 50% do total do RCD (HENRICHSEN, 2000).

Em relação à geração de entulho, a situação da cidade de Goiânia é igual das demais cidades brasileiras. Segundo a prefeitura, a geração de entulho na capital de Goiás gira em torno de 586.276 t/ano, sendo que desse total 60% é entulho passível de reutilização (OLIVEIRA et al., 2005).

O entulho é composto por restos de todos os materiais de construção (concretos, pedras, tijolos, areia, argamassa, cerâmicas, metais, madeira, papéis, plásticos, tintas, etc.). Mas Zordan (1997) afirma que a maior fração de sua massa é formada por material não mineral (madeira, papel, plásticos, metais e matéria orgânica).

Em alguns países existem regulamentações que proíbem e punem os responsáveis pela deposição de resíduos no meio-ambiente. No Reino Unido, a cobrança de taxas pela deposição de resíduos de concreto no meio ambiente, tem incentivado as usinas de concreto pré-misturado a reduzir substancialmente a quantidade de resíduo produzido (SEALEY et al., 2001). Buttler (2003) relata que na Inglaterra, o Estado cobra uma taxa da construtora de todo o resíduo gerado na obra; a preocupação, em princípio, não é apenas com o desperdício em si, mas sim com o provável impacto que esse resíduo gerará no meio ambiente; caso esse resíduo seja previamente separado na obra, a taxa a ser cobrada será menor.

No Brasil ainda o que mais se vê é a destinação inadequada dos entulhos, bem como a reciclagem dos mesmos é pouco difundida. Mas existem exemplos com sucesso, como o da cidade de Belo Horizonte, MG, que iniciou um programa de reciclagem de entulho, incluindo a instalação de 4 usinas de reciclagem (ZORDAN, 1997).

O mesmo autor acrescenta que nestas usinas são reaproveitados blocos, argamassa dura, cerâmica, areia, pedra, concreto, enfim, a fração mineral do entulho, exceto o gesso, podendo

se transformar em argamassas, sub-base de pavimentação, blocos de alvenaria, material para contenção de encostas, etc. Tudo isso contribui para a preservação do meio ambiente e da qualidade de vida nas cidades.

Um levantamento recente sobre usinas brasileiras de reciclagem de RCD mostrou que essas usinas, operando nas capacidades máximas, conseguiriam reciclar apenas cerca de 4,5% do RCD gerado (MIRANDA et al., 2009).

Em 2002, com a aprovação da resolução 307, ficaram estabelecidos critérios e procedimentos para a gestão de RCD no Brasil (CONAMA, 2002). Por esta resolução, são atribuídas responsabilidades tanto para o poder público quanto para a iniciativa privada (PINTO et al., 2005). As empresas privadas de construção, que são grandes geradoras desse resíduo, devem desenvolver projetos de gerenciamento específicos, por exemplo, triagem em canteiros de obras, incluindo o uso de transportadores cadastrados e de áreas licenciadas para manejo e reciclagem, já o poder público deve oferecer uma rede de coleta e destinação ambientalmente correta para os pequenos geradores, responsáveis por reformas e autoconstruções e incapazes de implementar autogestão (ÂNGULO, 2011).

Aproximadamente 90% dos municípios brasileiros possuem menos de 20.000 habitantes (IBGE, 2010), nos quais uma grande parcela de RCD não está sendo devidamente gerenciada dentro do que recomenda a resolução CONAMA 307 (CONAMA, 2002).

John e Agopyan (2013, p. 12) citam algumas ações que direcionam para a redução da geração de menos resíduo na construção civil:

Mudanças de tecnologia para combater as perdas; aperfeiçoamento e flexibilidade de projeto; melhoria da qualidade de construção, de forma a reduzir a manutenção causada pela correção de defeitos; seleção adequada de materiais, considerando, inclusive, o aumento da vida útil dos diferentes componentes e da estrutura dos edifícios; capacitação de recursos humanos; utilização de ferramentas adequadas melhora da condição de estoque e transporte; melhor gestão de processos; incentivo para que os proprietários realizem modificações nas edificações e não demolições; taxaço sobre a geração de resíduos; medidas de controle de disposição; campanhas educativas.

De acordo com CONSTRUÇÃO (1996), dependendo do tipo do britador usado, que definirá a granulometria do agregado, o material reciclado ainda pode ser usado como sub-base para pavimentação de vias, pré-moldagem de tampas de bueiros ou sarjetas, cascalhamento de vias, obras de contenção de encostas ou para fabricação de blocos de alvenaria. Mas segundo Zordan (1997) a forma mais simples de reciclagem de entulho é a sua utilização em pavimentação (base e sub-base). O entulho reciclado em sub-base e base pavimentos já vem sendo usado no Brasil, inclusive na cidade de Belo Horizonte já operam plantas de reciclagem, produzindo principalmente base para pavimentação (CAMPOS et al., 1994).

Nos dias de hoje, um recurso importante empregado nessa problemática ambiental é a implantação de programas de gestão resíduo oriundos da construção civil. Um recurso criado para tal finalidade foi a Resolução 307 (CONAMA, 2002), a qual define, para a construção civil, quatro classes de resíduos, que deverão ter tratamentos distintos:

- Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassas, concretos, tubos, meio-fio, solos de terraplanagem, etc.;
- Classe B – resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, madeiras, etc.;
- Classe C – resíduos ainda sem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para a sua reciclagem/recuperação, tais como os oriundos do gesso (tratamento pelo gerador);
- Classe D – perigosos, como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados (tratamento pelo fabricante).

Além dessa classificação dos resíduos, que viabiliza um manejo mais adequado, bem como o auxílio para o emprego deles como material alternativo (reciclado) em diversas áreas da construção civil, esta resolução estabelece, ainda, que os mesmos não possam ser dispostos em aterros de resíduos sólidos domiciliares ou em bota-fora. Estabelecendo também que a competência para o gerenciamento dos mesmos fica sobre responsabilidade dos governos municipais (AZEVEDO et al., 2006).

A implementação de medidas para redução dos impactos ambientais, oriundos das atividades do setor da construção civil faz-se necessária, visto o imenso volume de geração desse resíduo, bem como dos transtornos que o mesmo ocasiona.

3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo do tempo a humanidade tem tido uma visão de que o progresso se confunde com um crescente domínio e transformação da natureza. Nesse paradigma, os recursos naturais são tidos como ilimitados. Os resíduos gerados durante a produção são depositados em aterros ao final da vida útil do produto, caracterizando um modelo linear de produção, sendo que a preservação da natureza tem sido vista de forma geral como contraditório ao desenvolvimento (CARNEIRO et al., 2001). Nesse contexto, a preservação da natureza significou a criação de parques, áreas especiais destinadas à preservação de amostras da natureza para as gerações futuras, evitando-se a extinção de espécies.

A poluição do ar e da água foi o primeiro alerta dos exageros desse modelo, levando à geração do conceito de controle ambiental da fase de produção industrial, com o estabelecimento de rígida legislação limitando a liberação de poluentes e com a criação de Agências

Ambientais (CARNEIRO et al., 2001). Essa visão ainda está presente no movimento ambiental em grande escala, algumas vezes denominado de preservacionista, e na ainda limitada consciência ambiental dos brasileiros. Preservação ambiental é antes de tudo a preservação da fauna, da flora e dos rios.

Como a incapacidade desse modelo é eminente, surge a visão de desenvolvimento sustentável e de preservação ambiental que se propaga e até mesmo garante a sobrevivência da espécie humana. A evolução do conhecimento sobre os efeitos de poluentes orgânicos, as catástrofes planetárias como a destruição da camada de ozônio por gases produzidos e liberados pelo homem e o conhecido efeito estufa demonstram que a preservação da natureza vai exigir uma reformulação mais extensa dos processos produtivos e de consumo. Isso requer uma reformulação radical da visão de impacto ambiental das atividades humanas, que passa, também, a integrar todos os impactos das atividades de produção e de consumo, desde a extração da matéria prima, os processos industriais, o transporte e o destino dos resíduos de produção e ainda o do produto após a sua utilização (CARNEIRO et al., 2001).

Além dos regulamentos que limitam a poluição do ar e da água e protegem vegetação e espécies naturais, é clara a necessidade de uma análise crítica dos processos de produção e de consumo.

Segundo Gouveia (2012), a reutilização de resíduos sólidos como insumo nos processos produtivos gera benefícios diretos, tanto na redução da poluição ambiental causada pelos aterros e depósitos como em benefícios indiretos relacionados à conservação de energia e em ambas as situações há potencial de diminuição nas emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global. Estima-se que em um cenário ideal de reciclagem, teria sido possível evitar a emissão de 18 a 28 milhões de toneladas de dióxido de carbono no Brasil, no período de 2000 a 2007 (PEREIRA et al., 1999). Portanto, a reciclagem de resíduos sólidos urbanos representa uma importante forma de atenuar os impactos dos gases de efeito estufa, contribuindo em direção a um desenvolvimento mais sustentável.

De acordo com Carneiro e outros autores (2001), não se pode falar em desenvolvimento sustentável sem que a construção civil passe por profundas transformações. O mesmo autor cita, ainda, que a cadeia produtiva desse ramo, também denominada construbusiness, apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo: extração de matérias-primas, produção de materiais, construção, uso, demolição, e que a mesma corresponde a 14% da economia do Brasil. Qualquer atividade humana necessita de um ambiente construído adequado para sua operação. Qualquer sociedade seriamente preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade.

O ramo da engenharia civil voltada para as construções é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais e estima-se que utiliza entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. O setor consome enormes quantidades de materiais com significativo conteúdo energético, como pode ser visto na tabela 1 abaixo, que necessitam ser transportados a grandes distâncias, estimando-se que cerca de 80% da energia utilizada na produção de um edifício é consumida na produção e transporte de materiais (CONSTRUCTION, 1996).

Tabela 1 – Consumo de energia (GJ/ton) para a produção de diferentes materiais nos países baixos

Matérial	E	Matérial	E	Matérial	E	Matérial	E
Alumínio	250	Aço	30-60	Cal	3-5	Agregados	< 0,5
Plásticos	75	Vidro	12	Cerâmica	2-7	Cinza vol.	< 0,5
Cobre	> 100	Concreto	6	Madeira	0,1-5	Solo	< 0,5

Fonte: Construction... (1996), levantamento no ano de 1990.

As atividades de produção de matérias-primas, de canteiro e até mesmo de manutenção e demolição geram impactos ambientais como resíduos, ruído, poeira, além dos poluentes industriais (ÂNGULO et al., 2001). E de acordo com John (2000), a produção de cimento e cal, por exemplo, envolve a calcinação de calcário, lançando grande quantidade de CO₂ na atmosfera, para cada tonelada de cal virgem, são produzidos 785 kg de CO₂, ou mais de 590 kg de CO₂ para uma tonelada de cal hidratada e que no Brasil, a indústria cimenteira é responsável por mais de 6% do CO₂ gerado. O CO₂ é o principal gás responsável pelo efeito estufa.

Kilbert (1994) relata que de um modo geral, a redução do impacto ambiental da construção civil é tarefa complexa, sendo necessário agir em várias frentes de maneira combinada e simultânea: minimizar o consumo de recursos (conservar); maximizar a reutilização de recursos (reutilizar materiais e componentes); usar recursos renováveis ou recicláveis (renovar / reciclar); proteger o meio ambiente (proteção da natureza); criar um ambiente saudável e não tóxico (utilizar não tóxicos); buscar a qualidade na criação do ambiente construído (aumentar a qualidade).

De acordo com John (1995), uma das maneiras de reduzir o consumo de energia é a incorporação de resíduos na produção de materiais, não apenas pelo fato desses produtos, frequentemente, incorporarem grandes quantidades de energia, mas, também, porque podem ser reduzidas as distâncias de transporte de matérias-primas e, no caso das escórias e pozolanas, é esse nível de energia que permite produção de cimentos sem a calcinação da matéria prima, permitindo uma redução de consumo energético de até 80%.

Para Susilorini (2009), a adição de sacarose, cana e o caldo da cana é uma alternativa para o desenvolvimento sustentável, pois estes aditivos orgânicos reduz a utilização do cimento na mistura do concreto, além do mais são relativamente baratos em comparação a outros aditivos. A utilização desse concreto traz alguns benefícios como uma maior economia e uma maior qualidade de vida e bem-estar para a população. O "concreto verde" possui uma vantagem em relação ao concreto sem nenhum aditivo: maior resistência à compressão.

Segundo Moriconi ([s.d.]), duas ações principais que atendam as necessidades para o desenvolvimento da construção sustentável são: a utilização racional dos recursos naturais pode ser alcançada por meio da utilização de subprodutos e materiais reutilizáveis, consequentemente, reduz a extração de recursos naturais em pedreiras, promovendo um menor impacto ambiental por meio da redução de emissão de dióxido de carbono. Para efetuar o objetivo do desenvolvimento sustentável, uma das soluções sugere a possibilidade de usar subprodutos industriais de térmicas (CARLOS e PATRICIA, 2001). Ao projetar, visando à durabilidade,

bem como a realização de análises do ciclo de vida de projetos de construção, os materiais de substituição de cimento, tais como cinzas volantes em concreto é a melhor maneira de alcançar a sustentabilidade, e isso é possível se houver um direcionamento nas indústrias de construção, principalmente a de produção de concreto (FREDRIK, 1999).

Swamy (2000) relata que projetar concretos com materiais duráveis, incorporando cinzas volantes, escória, sílica ativa ou outros, como componentes vitais e essenciais de concreto é o primeiro e essencial passo para alcançar o desenvolvimento sustentável na indústria de cimento e concreto. No entanto, o mesmo autor menciona que seria irreverente e engraçado acreditar que o desenvolvimento sustentável na indústria da construção pode ser alcançado apenas por meio da utilização de subprodutos industriais siliciosos em concreto.

4 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Existem duas maneiras de reaproveitamento dos resíduos de construção: reutilização e reciclagem (TOZZI, 2006). As definições para ambas, segundo Mota (2000) são: reutilização, quando o resíduo é reutilizado sem qualquer modificação física, alterando ou não, o seu uso original e a reciclagem, quando o resíduo é processado e utilizado como matéria-prima virgem.

Deve-se dar prioridade à análise da possibilidade de reutilização dos resíduos, pois, segundo Angulo e outros autores (2002) no processo de reciclagem há a alteração dos componentes e, como qualquer atividade humana, existe a possibilidade de causar impactos no meio ambiente.

Visando a criação de condições para tornar comum a prática do reaproveitamento, alguns países adotaram políticas específicas como forma de incentivo. Por exemplo, na Dinamarca, a eficácia no aumento da reciclagem dos RCC se deu pela adoção de impostos de resíduos (WAMBUCO, 2002). Na Suécia, introduziram-se leis para promover métodos sustentáveis, tais como o aumento de taxas para a extração de recursos naturais e a proibição do encaminhamento dos RCC a aterros sanitários (THORMARK, 2001).

Em um estudo de sustentabilidade, em Portugal, Couto e outros autores (2006) apontam a desconstrução de edifícios como um modo de possibilitar a recuperação de materiais e componentes da construção, promovendo a reutilização e reciclagem. Para se alcançar um entendimento e aceitação generalizados a respeito da desconstrução é necessária a promoção da regulamentação ambiental e a melhora do conhecimento e sensibilização pelos donos de obra, projetistas e empreiteiros (LIU e PUN, 2003). A desconstrução possibilita, além da reutilização e reciclagem de materiais, a inovação tecnológica e o aparecimento de um novo mercado – o de materiais usados (COUTO et al., 2006).

A fim de convencer a se optar pela desconstrução, Couto e outros autores (2006) ainda destacam a impraticabilidade do reaproveitamento por meio de procedimentos não favoráveis à separação e recuperação dos resíduos, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Demolição indiferenciada do Hospital Bom Retiro em Curitiba/PR



Fonte: <http://www.gazetadopovo.com.br/midia>

Foi criado pelo *International Council for Research and Innovation in Building Construction* (CIB) juntamente com o *Powel Center for Construction and Environment* – Universidade da Flórida – Estados Unidos, um grupo de trabalho sobre desconstrução, com o objetivo de produzir e analisar informação e programas de reutilização, a nível mundial, de materiais, de modo a tornar a desconstrução e o reuso de materiais uma alternativa viável à demolição e à deposição em aterro. Desde então uma variedade de documentos têm sido produzidos e muito conhecimento tem se difundido (COUTO et al., 2006).

Leite (2001) reforça a ideia da importância da desconstrução e reutilização de resíduos e afirma que somente uma caracterização sistemática dos agregados, produzidos a partir de resíduos de construção e demolição permitirá melhor difusão do seu uso em concretos. Assim conhecer bem o comportamento do material reciclado dentro das misturas de concreto resultará em produtos de melhor qualidade e romperá possíveis barreiras para o completo reaproveitamento do resíduo.

Nóbrega e Melo (2009) aplicaram a reutilização de agregados e resíduos de construção na pavimentação urbana de João Pessoa-PB. O material utilizado é oriundo da usina de reciclagem, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Usina de Reciclagem de Resíduos Sólidos de Construção Civil na cidade de João Pessoa



Fonte: NÓBREGA e MELO, 2009.

O material utilizado foram os agregados reciclados, pois passaram pelo processo de beneficiamento, demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Amostras de agregado reciclado obtido da usina de reciclagem de João Pessoa.



Fonte: NÓBREGA e MELO, 2009.

Outra aplicação está na composição de tijolos de solo-cimento, desenvolvida por Ferraz e Segantini ([s.d.]). Produto resultante da mistura íntima de solo, resíduos e água. Os resultados em relação à consistência e retração linear são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de consistência e retração linear

Material	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)	Retração Linear (cm)
Solo natural	27,7	18,3	9,4	24,0
Solo+ 20% resíduo	23,6	16,1	7,5	14,7
Solo+ 40% resíduo	22,5	15,6	6,9	9,2

Por fim, Couto e outros autores. (2006) sugerem estratégias para reciclar ou reutilizar materiais provenientes da desconstrução.

As Estratégias sugeridas para Reciclagem de Materiais são: usar materiais reciclados, minimizar o número de diferentes tipos de materiais; evitar materiais tóxicos ou nocivos; conceber a montagem em separado de materiais com potencialidades de aproveitamento distintas; evitar acabamentos secundários e revestimentos quando possível; usar materiais capazes de incorporarem os seus próprios acabamentos de superfície ou usar acabamentos separados e mecanicamente conectados; providenciar a identificação permanente dos tipos de material; minimizar o número de diferentes tipos de componentes; usar um número mínimo de partes desgastantes; usar conexões mecânicas em vez de químicas; implementar conexões químicas mais fracas que as partes a serem conectadas.

As Estratégias para Reutilização de Componentes sugeridas são: optar pela utilização de um sistema de construção aberto *open space*; usar tecnologias de montagem compatíveis com práticas de edifícios *standard*; separar a estrutura das paredes internas dos revestimentos; providenciar acesso a todas as partes dos edifícios e a todos os componentes; usar componentes de fáceis operações de manuseamento; pensar no espaço e nos meios necessários para lidar com os diversos componentes durante a desmontagem; providenciar tolerâncias realistas para permitir os movimentos necessários durante a desmontagem; usar o número mínimo possível de diferentes tipos de conectores; usar uma hierarquia de desmontagem relacionada com a esperança de vida dos componentes; providenciar uma identificação permanente do tipo de componentes.

5 APLICAÇÃO DO CONCRETO SUSTENTÁVEL

Praticamente todos os setores da construção civil são capazes de utilizar do reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos de construção e demolição (RCD) e outros materiais recicláveis, desde as simples edificações às grandes pavimentações. Os resultados das análises voltadas para esse fim, realizadas ultimamente, têm mostrado, de forma geral, certa satisfação em relação à qualidade do concreto feito à base desses agregados reciclados.

Em uma pesquisa feita em laboratório e em campo para estudar a aplicação do concreto sustentável em pavimentos rodoviários na Austrália (Figura 4), Dumitru e outros autores (2000) abordaram temas como: agregado de concreto reciclado (RCA), desmoronamentos, asfalto de pavimentação recuperado (RAP), areia manufaturada, materiais de construção de túneis, cinzas e outros produtos similares. Concluíram que as baixas proporções de RAP e altas proporções de RCA podem ser misturadas para produzir uma *roadbase* (base da estrada) de qualidade. As misturas podem ser tratadas como material não ligante com a finalidade de caracterizar os materiais na determinação do dimensionamento de pavimentos.

Figura 5 – Teste de campo com baixa RAP / misturas de concreto moído, material homogêneo, sem sinais de segregação



Fonte: DUMITRU et al.. Progress Towards Achieving Ecologically Sustainable Concrete and Road Pavements in Australia, 2000.

Devido à falta (no ano 2000) de especificações adequadas para materiais reciclados e as diferenças entre os agregados reciclados e naturais, tais como a forma de partículas e textura, a densidade, a absorção de água e durabilidade, a introdução de materiais reciclados em outras aplicações avançou lentamente.

Em contrapartida, uma pesquisa realizada recentemente por Manzi e outros autores (2013) aborda os efeitos de dois tipos de agregados reciclados de concreto: finos e grossos com uma investigação sobre as propriedades físicas e mecânicas de curto e longo prazo. As misturas do concreto estudado foram designadas por meio do ajuste e seleção do conteúdo e tamanho de grão do resíduo com o objetivo de obter a média-alta resistência, com alto teor de agregados reciclados (entre 27% e 63,5% do total de agregados).

A Tabela 2 representa um dos resultados do estudo de Manzi outros autores (2013), apresentando uma comparação entre a mistura convencional de concreto (CC) e outras quatro misturas com variados índices de composição de agregados reciclados de demolição com agregados naturais (comumente utilizados no preparo convencional do concreto).

Tabela 3 – Propriedades físicas e mecânicas das misturas de concreto investigadas

Mistura	D(g/cm ³)	W _a (%)	f _{cm} 7 d (MPa)	f _{cm} 28 d (MPa)	E (GPa)	f _{ct} m(MPa)	f _{cf} (MPa)
CC	2,38	6,1	36,7	41,3	31,4	3,8	6,4
RC1	2,32	6,2	44,9	51,4	30,3	3,2	5,8
RC2	2,20	9,3	39,5	45,6	24,9	3,0	4,9
RC3	2,27	9,0	34,5	44,7	26,9	4,1	4,8
RC4	2,30	7,8	36,1	41,9	30,6	3,3	5,7

(D= densidade; W_a = absorção de água; f_{cm} 7d e f_{cm} 28d = resistência de compressão em 7 e 28 dias de secagem; E = módulo de elasticidade secante; f_{ct} = resistência à tração; f_{cf} = resistência à flexão em três pontos).

Fonte: Manzi outros autores.. Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate, 2013.

Um mesmo estudo foi feito por Leite (2001) e no seu trabalho ele relata ainda a existência de normas em alguns países onde os agregados reciclados já estão sendo inseridos no contexto da construção civil. Foram desenvolvidas propostas de especificação do material, garantindo seu uso de forma mais correta. Segundo o autor, o estudo de algumas destas normas ou diretrizes colabora para facilitar esta inserção em locais onde os agregados reciclados ainda não são utilizados.

6 CUSTOS

Atualmente, os resíduos sólidos integram um dos maiores problemas para as empresas e administrações públicas, visto que seu gerenciamento adequado acarreta custos elevados. E em razão das disposições irregulares acabam gerando degradação da qualidade de vida, com a redução da eficiência dos sistemas de tráfego e de drenagem (ÂNGULO et al., 2001). Nas grandes cidades, o problema é ainda mais grave, devido à quantidade de resíduos gerados e à falta de áreas adequadas, próximas e disponíveis para deposição desses materiais (CARNEIRO et al., 2001).

O ônus desta irracionalidade é distribuído por toda a sociedade, não só pelo aumento do custo final das construções como, também, pelos custos de remoção e tratamento do entulho. Na maioria das vezes, o resíduo é retirado da obra e disposto clandestinamente em locais como terrenos baldios, margens de rios e de ruas das periferias, gerando uma série de problemas ambientais e sociais, como a contaminação do solo por gesso, tintas e solvente; a proliferação de insetos e outros vetores contribuindo para o agravamento de problemas de saúde pública (MENDES et al., 2004).

Com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional e aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo considerando-se volume e massa acumulados, principalmente após 1980. Os problemas se caracterizavam por escassez de área de deposição de resíduos causadas pela ocupação e valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental (JOHN, 2000; BRITO, 1999; GÜNTHER, 2000; PINTO, 1999).

Picchi (1993) estima que o desperdício total, expresso em porcentagem do custo da obra, cujas origens são especificadas na Tabela 2, é da ordem de 30%. No entanto, aqui entra a observação de Shuchovski (1995). Seria mais sensato expressar esses valores como impacto da não qualidade no custo total da construção.

Tabela 4 – Impacto estimado da falta de qualidade no custo da obra

ORIGENS DO DESPERDÍCIO	DESPERDÍCIO ESTIMADO (% sobre o custo da obra)
Entulho gerado	5,0
Espessuras adicionais de argamassas	5,0
Dosagens de argamassa e concreto não otimizadas	2,0
Reparos e resserviços não computados no entulho	2,0
Projetos não otimizados	6,0
Perdas de produtividade (problemas de qualidade)	3,5
Custos devido a atrasos	1,5
Reparos em obras entregues a clientes	5,0
TOTAL	30,0

Fonte: PICCHI, 1993 (Modificada).

Além disso, vale ressaltar que a quantidade de tempo que a mão de obra do setor permanece parada esperando ordem (que corresponde a 35% do tempo teoricamente trabalhado) gera uma ociosidade que contribui sozinha, para um acréscimo de 12% no custo total de um empreendimento, segundo Pinto e Pinto (1995). Se esse valor entrar no item “Perdas de produtividade” o valor total será ainda superior a 30%.

Como qualquer outra atividade, a reciclagem, pode gerar resíduos, cuja quantidade e características, também, vão depender do tipo de reciclagem escolhida. Esses novos resíduos, nem sempre são tão ou mais simples que aqueles que foram reciclados. É possível que eles se tornem ainda mais agressivos ao homem e ao meio ambiente do que o resíduo que está sendo reciclado. Dependendo de sua periculosidade e complexidade, estes rejeitos podem causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados, a falta de tecnologia para o seu tratamento, a falta de locais para dispô-lo e todo o custo que isto ocasionaria. É preciso, também, considerar os resíduos gerados pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados – fechando assim o ciclo (ÂNGULO et al., 2001).

O mesmo autor ainda cita que os custos despendidos com os resíduos, como os de licenças ambientais, deposição de resíduos, transportes, as multas ambientais, entre outros devem ser considerados para a futura avaliação da viabilidade econômica da reciclagem.

Segundo os dados de Brito (1999) a prefeitura de São Paulo recolhe mensalmente 4000 ton de RCD, ou seja $1,06 \cdot 10^6$ ton/ano a um custo anual de R\$54 milhões por ano. Para a estimativa do faturamento, se for admitida a estimativa oficial apresentada por este autor que este total de RCD representa 40% do gerado no município, porcentagem que parece superestimado, o setor privado seria responsável por $1,7 \cdot 10^6$ ton/ano. Considerando que o custo de transporte

de uma caçamba de 4m³ é de R\$60 geraria um faturamento potencial anual de R\$20 milhões. Este valor corresponderia a apenas 400 mil viagens, ou a 7,3 mil caçambas, considerando uma viagem por semana, valores muito abaixo das estimativas existentes.

E segundo Valverde (2000), o transporte responde por cerca de 2/3 do preço final do agregado, o que impõe a necessidade de produzi-los o mais próximo possível do mercado, que são os aglomerados urbanos.

No entanto, admitindo que a geração de entulho no município de São Paulo é igual a mediana da amostra estudada por Pinto (1999) de 510kg/hab.ano, que corresponde a cidade de Santo André, a prefeitura passaria a recolher cerca de 20% do entulho gerado, o que pode ser uma estimativa mais adequada à realidade da cidade. Nesta nova estimativa, a parcela não transportada pela prefeitura seria de 3,7.10⁶ ton/ano, o que equivale a um faturamento anual potencial de R\$ 47 milhões. Assim, o negócio potencial de coleta de resíduos na cidade de São Paulo está entre R\$ 74 milhões e R\$ 101 milhões anuais. Ou seja, o custo anual per capita para a retirada do entulho estimado estaria entre R\$ 8 a R\$ 11. Este mesmo índice, estimado a partir dos dados de Pinto (1999) para cidades entre 300 e 600 mil habitantes, variou de R\$ 9,9 a R\$ 11,9/hab.ano. Embora fosse de se esperar que o custo do RCD em uma cidade grande como São Paulo fosse relativamente mais caro, os resultados podem ser considerados adequados.

Em Belo Horizonte, MG, onde existe um Programa de Reciclagem de Entulho, que visa a instalação de mais três usinas de reciclagem, nos mesmos padrões da já existente, haviam antes da instalação da primeira usina, 134 pontos de deposições clandestinas na cidade. A produção chegava a 1,2 mil t/dia de entulho e mais 1,8 mil t/dia de terra, com um custo anual de remoção superior a 1 milhão de dólares, conforme levantamento realizado em 1993 (CONSTRUÇÃO,1996).

A capital mineira, que vem gradativamente perdendo seus aterros sanitários, por simples esgotamento: eram 12 em 1993 e em 1995 reduziram-se a sete, gasta cerca de 9,5 dólares/m³, (valor muito próximo ao verificado em outras cidades, segundo o arquiteto T. P. Pinto) para o gerenciamento dos resíduos incorretamente depositados em locais clandestinos, segundo Téchne (1995).

De acordo com Zordan (1997) a prefeitura de Santo André, na Grande São Paulo, iniciou em 1993 um projeto para reciclagem diária de 30 m³ de resíduos e a produção de aproximadamente 4 mil blocos por dia, com material recuperado. Neste estudo obteve-se, por exemplo, para as condições específicas do município, uma relação de 1 para 10 entre o custo de reciclagem e os gastos abolidos para introdução dessa prática. Além de poder gerar agregados com custo 83% inferior ao preço médio dos materiais convencionais, a análise apresentou, também, a viabilidade de se fazer blocos com custos 45% inferiores ao preço de componentes de qualidade.

Os processos especializados utilizados nas centrais de reciclagem, embora necessitem de um investimento inicial alto, geralmente acabam ficando mais baratos que o custo gerado pelos aterros. No programa de reciclagem implantado na cidade de Los Angeles, após o

terremoto de 1994, por exemplo, a média dos custos de reciclagem, incluindo a coleta, foi de aproximadamente US\$ 15/t, cerca da metade do custo dos aterros norte-americanos, de acordo com Biocycle (1994).

O setor de construção encontra-se mobilizado em torno do tema de redução das perdas, pois estas significam uma oportunidade de redução de custos. Medidas de controle de deposição, transporte e até mesmo taxaço da geraço de resíduos pela construção são alternativas adicionais à disposiço do poder público. Estas alternativas têm sido adotadas em vários países, por exemplo, na Inglaterra (JOHN, 2000). Campanhas educativas poderiam apresentar resultados mais amplos, ao atingir, também, a construção informal.

7 LEGISLAÇÃO

Mesmo não havendo uma política nacional de saneamento ambiental, ou mesmo de resíduos sólidos, entrou em vigor, a partir de janeiro de 2003, a Resolução nº 307/02, de 5 de julho de 2002, do 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 e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2003).

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 foi dado um prazo de dois anos (até janeiro de 2005) para que incluam, nos seus projetos de obras a serem submetidos à aprovação, o projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (BONFIM, 2003; BRASIL, 2003).

Para efeito dessa resolução, são adotadas as seguintes definições:

A) Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos.

B) Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos.

C) Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte de resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação.

D) Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

E) Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias.

F) Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo.

G) Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.

H) Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.

I) Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área, sem causar danos à saúde pública e ao meio-ambiente.

J) Área de destinação de resíduos: são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

Os geradores deverão ter como objetivo prioritário, a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final; sendo que os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.

Para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil, deverá ser elaborado pelos Municípios e Distrito Federal, o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, contemplando os seguintes itens: 1) cadastramento de áreas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, possibilitando a destinação posterior dos resíduos às áreas de beneficiamento; 2) proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas; 3) incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo; 4) ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos; 5) ações educativas, visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas: 1) 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; 2) 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; 3) Classe C e Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

E em Belo Horizonte, o Código de Posturas do Município (Lei 861 de 14/07/2003) forneceu novas orientações para resíduos de construção, proibindo a utilização de logradouro público, de parque, de margens de curso d'água e de área verde como bota-fora ou áreas de empréstimo. E em 2006, a Lei 9193 de 19/04/2006 dispôs sobre a implantação de usina de reciclagem de resíduos sólidos. A lei autoriza a implantação de usinas de reciclagem de resíduos de construção civil e de resíduos de poda de árvores em cada administração regional; incentiva a implantação de centros de serviços para produção de agregados provenientes de materiais recicláveis do entulho da construção civil e determina que cabe ao Poder Executivo, por meio de programas e parcerias com agentes privados envolvidos na indústria da construção, incentivar o uso de materiais recicláveis na construção de casas populares e obras públicas (MORAES e PEREIRA, 2012).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista dos argumentos apresentados, percebe-se a importância do concreto sustentável, pois além de trazer benefícios como: redução no consumo de recursos naturais não renováveis, redução de áreas necessárias para aterro pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem, redução do consumo de energia durante o processo de produção, redução da poluição, pode gerar, também, uma economia aos cofres públicos e às empresas, pois o transporte e o descarte dos RCD geram muitas despesas, podendo chegar a 20 milhões por ano, como exemplo a cidade de São Paulo.

A redução da geração de resíduo é complexa, e somente pode ser atingida no médio ou longo prazo.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição é viável do ponto de vista técnico e ambiental. O risco de contaminação ambiental por este tipo de reciclagem pode ser considerado baixo. Várias prefeituras brasileiras já operam centrais de reciclagem de RCD, produzindo agregados utilizados basicamente em obras de pavimentação. O desafio do próximo período é generalizar a prática, inclusive por meio da viabilização da atividade privada. Para que esta meta seja atingida, são necessárias políticas públicas consistentes, abrangendo as áreas de legislação, pesquisa e desenvolvimento, legislação tributária e educação ambiental.

Porém, alguns aspectos foram identificados como necessários para um gerenciamento mais adequado: uma fiscalização mais eficaz ou novas formas de fiscalização podem reduzir o número de deposições clandestinas; um contínuo investimento na educação da população para tomada de consciência; a adoção de novas diretrizes que, também, objetivem a minimização dos resíduos, o que implicaria na diminuição de resíduo entrando no sistema de limpeza urbana. Há a necessidade de maior fiscalização nas empresas construtoras, de forma a conscientizá-las da necessidade de se adaptarem nesse novo modelo de responsabilidade e competitividade. A taxa de resíduo gerada precisaria ser estudada de forma a não acarretar o efeito perverso de desestimular a entrega correta dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C.; ULSEN, C.; KAHN, H.; JOHN, V. M. Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD. In: V Seminário de Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. IBRACON CT-206/IPEN. **Anais**. São Paulo, 2002.

ÂNGULO, S. C.; TEIXEIRA, C. E.; CASTRO, A. L. de; NOGUEIRA, T. P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Eng Sanit Ambient**. v.16, n.3, jul/set 2011, p. 299-306.

AZEVEDO, G. O. D. de; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Eng. Sanit. Ambient**. v. 11 n. 1, Rio de Janeiro, mar. 2006.

BIANCHINI, G.; MARROCCHINO, E.; TASSINARI, R.; VACCARO, C. Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical-mineralogical appraisal. *Waste Management*. **Corso Ercole I D'Este** n. 32, 2005, 25(2): 149.

BIOCYCLE. **Meeting the Challenge of Eartquake Recycling**. *Biocycle*, november, 1994, p. 55-57.

BONFIM, J. Entulho de construção vai ter coleta seletiva: resolução do Conselho de Meio Ambiente enquadra os geradores de lixo. **A Tarde**, Salvador, segunda-feira, 6 out. 2003.

BRITO, J. A. Cidade versus entulho. In: Seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON),1999, p. 56-67.

BUTTLER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto** – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados. São Carlos, 2003. 199p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Esc. Eng. S. Carlos, USP, Tese Dr., S. Carlos, SP (2007).

CAMPOS, H. K.; DUTRA, M. R., MEIRELES, S. C. I; PAULA, T. P. de. Programa para correção das deposições e reciclagem de resíduos em Belo Horizonte. In: **Seminário Reciclagem de resíduos para a redução de custos na Construção Habitacional**. Belo Horizonte, 1994, p. 56-65.

CARLOS, V.; PATRICIA, M. **Sustainable concrete construction with fly ash lightweight aggregates**. Conference Papers from the COBRA. 2001.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001, p. 188-227.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. **Diário Oficial da União**, 17/07/2002.

CONSTRUCTION and the environment: fact and figures. **Industry and environment**, Paris, v. 29, n. 2, abr./jun., 1996, p. 2-8.

COUTO, A. B.; COUTO, J. P.; TEIXEIRA, J. C. **Desconstrução – Uma Ferramenta par Sustentabilidade da Construção**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. Azurém, Portugal, 2006.

DUMITRU, I.; MUNN, R.; SMORCHEVSKY, G. **Progress Towards Archiving Ecologically Sustainable Concrete and Road Pavements in Australia**. Boral Construction Materials. Elsevier Science Ltd.: Sydney, Australia, 2000.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. da S. **Engenharia Sustentável: Aproveitamento de Resíduos de Construção na Composição de Tijolos de Solo-cimento**. UNICAMP. Campinas, São Paulo (s.d.).

FERREIRA, J. A.; ANJOS, L. A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cad Saúde Pública**, 2001, 17(3): 689-696.

FREDRIK, B. **Concrete technology and sustainable development**. Key Issues from the Vancouver Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development. P. Eng, 1999

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, 2012, 17(6):1503-1510.

HENRICHSEN, A. Int. Workshop Recycled Aggregate, Niigata, Japão (2000). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, PNSB -2008. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: Seminário Reciclagem de Resíduos Domiciliares, São Paulo. Disponível em: <www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em: 5 abr. 2013.

JOHN, V. M. Novas tecnologias para a construção habitacional. In: Simpósio engenharia de produção, 2., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru, p.108-113, 1995.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 120f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KILBERT, C. Establishing principles and a model for sustainable construction. In: **CIB TG 16 sustainable construction**, 1994, Tampa, Florida. Proceedings... Tampa, Florida, 1994, p. 3-12.

LEAL, U. *Techne: revista de tecnologia da construção*, **10** (2001)

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

LIU, C.; PUN, S. K. Conceitos, modelos e análises de demolição eletrônica de edifícios, em Lethbridge, Nick (eds), **Actas do 4º Internacional We-B Conference (trabalhando com e-business)**, Edith Cowan University, Perth, WA. 2003, p. 1-8.

MANZI, S.; MAZZOTI, C.; BIGNOZZI, M.C. **Short and Long-Term Behavior of Structural Concrete with Recycled Concrete Aggregate**. Departamento de Engenharia Civil, Química, Ambiental e Engenharia de Materiais da Universidade de Bolonha. Bolonha, Itália, jan. 2013.

MENDES, T. A.; REZENDE, L. R.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, R. C.; CARVALHO, J. C. de; VEIGA, R. Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado. **Anais da 35ª Reunião Anual de Pavimentação**, 19 a 21/10/2004, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2004.

MIRANDA, L.; ÂNGULO; S.C.; CARELI, E.D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído** (Online), v. 9, n. 1, 2009, p. 57-71.

MORAES, R. de O.; PEREIRA, P. M. S. O programa de manejo diferenciado e reciclagem de resíduos da Prefeitura de Belo Horizonte. **Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA**, São Paulo, v. 6, n. 1, jan./abril 2012, p. 117-126.

MORICONI, G. **Recyclable materials in concrete technology: sustainability and durability**. Department of Materials and Environment Engineering and Physics, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy. Disponível em: <http://www.claisse.info/special%20papers/moriconi_full_text.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2013.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro, Abes, 2000.

MOTTA, L. M. G.; FERNANDES, C. **Utilização de Resíduo Sólido da Construção Civil em Pavimentação Urbana**. 12ª Reunião de Pavimentação Urbana, ABPv, Aracaju, Sergipe. 2003.

NÓBREGA, R. D. da; MELO, R. A. de. **Uso de Agregados de Resíduos da Construção Civil na Pavimentação Urbana de João Pessoa**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2009.

OLIVEIRA, J. C.; REZENDE, L. R.; GUIMARÃES, R. C.; CAMAPUM, J. C.; SILVA, A. L. A. Evaluation of a flexible pavement executed with recycled aggregates of construction and demolition waste in the municipal district of Goiânia – Goiás. In: 2005 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON

PAVEMENT RECYCLING, 2005, São Paulo, **Anais eletrônicos** do 2005 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PAVEMENT RECYCLING. [CD ROM]. São Paulo, 2005.

PEREIRA, A. S.; OLIVEIRA, L. B.; REIS, M. M. Emissões de CO₂ Evitadas e Outros Benefícios Econômicos e Ambientais Trazidos pela Conservação de Energia Decorrente da Reciclagem de Resíduos Sólidos no Brasil. In: **Anais do III Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. [CD-ROM]; Recife, 1999.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, jul./set. 2012, p. 125-134.

PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade**: uso em empresas de construção de edifícios. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese (Doutorado). 1993. 462 p.

PINTO, T. P. GONZÁLEZ, J. L. R. Ministério das Cidades. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. v. 1, Brasília: Caixa, 2005, 196 p.

PINTO, T. P. **Metodologia Para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 190 f. São Paulo. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P.; PINTO, C. A. P. Qualidade com pequenas soluções. **Construção**. São Paulo: Pini, n. 2453, fev. 1995, p. 12-14.

POON, C. S.; CHAN, D. Paving Blocks Made With Recycled Concrete Aggregate and Crushed Clay Bricks. **Construction and Building Materials**, v. 20, n. 5, jun. 2006, p. 569-577.

SCHUCHOVSKI, J. L. Conceito e preconceito. **Construção**. São Paulo: Pini, n. 2486, out. 1995, p. 14.

SEALEY, B. J.; PHILLIPS, P. S.; HILL, G. J. **Waste Management Issues for the UK Ready-Mixed Concrete Industry**. Resources, Conservation and Recycling, v. 31, 2001, p 321-331.

SUSILORINI, M. I. R. 'Green' admixtures for sustainable concrete implemented to subsidized apartment. **Seminar Nasional 2009** – Jurusan Teknik Sipil, FT-UKM, 15 Agustus, 2009.

SWAMY, R. N. **Designing Concrete and Concrete Structures for Sustainable Development**. Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry. Proceedings of CANMET/ACI International Sympos. 2000.

TÉCHNE. **Minas de entulho**. São Paulo: Pini, n. 15, mar./abr. 1995, p. 15-19.

THORMARK, C. **Conservation of energy and natural resources by recycling building waste**. Journal of Resources, Conservation and Recycling, v. 33, abril, 2001, p. 113-130.

TOZZI, R. F. **Estudo da Influência do Gerenciamento da Geração dos Resíduos da Construção Civil (RCC)** - Estudo de Caso de Duas Obras Em Curitiba/PR. Dissertação de Mestrado. Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

VALVERDE, F. M. 2000. **Agregados para Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.dnmpm.gov.br/suma2001/>>. Acesso em: mar. 2002.

WAMBUCO. **Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios** – Volume III. União Européia, 2002.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas. 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acesso em: 27 jul. 2006.

Data do recebimento: 21 de agosto de 2013

Data da avaliação: 18 de janeiro de 2014

Data de aceite: 21 de janeiro de 2014

1. Graduando em Engenharia Civil – Universidade Tiradentes.

2. Graduando em Engenharia Civil – Universidade Tiradentes.