

A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008

Recycling of construction and demolition waste in Brazil: 1986-2008

Leonardo Fagundes Rosembach Miranda
Sérgio Cirelli Angulo
Élcio Duduchi Careli

Resumo

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) no país, apesar de ser uma atividade recente, tem se desenvolvido mais significativamente nos últimos 5 anos. Existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional do gerenciamento e reciclagem de RCD. Este artigo apresenta o panorama da reciclagem de RCD entre 1986 e 2008 no Brasil através do levantamento de canteiros que implantaram triagem de RCD e seus benefícios e do levantamento da taxa de crescimento e capacidade instalada das usinas de reciclagem, o setor responsável por sua operação (público ou privado), e suas condições operacionais. Cerca de 1% das empresas nacionais já foram assistidas para a implantação de planos de gerenciamento de RCD em canteiros, sendo esse percentual composto principalmente de construtoras de médio e grande portes. Os resultados mostram que, após a resolução CONAMA 307, a quantidade de usinas instaladas cresceu, mas utilizando ainda um sistema simples de reciclagem. O custo do controle de qualidade é baixo. Ele precisa ser implantado com o intuito de se reduzir a variabilidade do agregado reciclado. São apresentadas alternativas para melhorar os processos de reciclagem e, conseqüentemente, a qualidade do agregado reciclado, que poderiam contribuir para o desenvolvimento do mercado para RCD.

Palavras-chave: Reciclagem. Agregado. Argamassa. Concreto.

Abstract

Although the recycling of construction and demolition waste (CDW) is a recent activity in Brazil, it has grown substantially over last 5 years. This article aims to provide an overview on CDW recycling between 1986 and 2008 by analyzing the amount of building sites that have adopted CDW management and sorting; and the rate of implementation of recycling plants/year, their processing capacities, operational profiles (public or private), and operational conditions, especially medium and large-sized construction companies. About 1% of Brazilian construction companies have been assisted to devise CDW management plans. The results show that the amount of existing recycling plants has grown after CONAMA 307 resolution, but these still use a very simple recycling process. The quality control of the CDW aggregate must be improved in order to reduce its variability. Some alternatives to improve processing techniques, and the quality of CDW recycled aggregate are also presented. Such alternatives can potentially contribute to develop the market for CDW.

Keywords: Recycling. Aggregate. Mortar. Concrete.

Leonardo Fagundes
Rosembach Miranda
Centro de Tecnologia e
Geociências
Universidade Federal de
Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n,
Cidade Universitária, Recife - PE -
Brasil
CEP 50740-530
Tel.: (81) 2126-8219
E-mail: lfrmiranda@pq.cnpq.br

Sérgio Cirelli Angulo
Centro de Tecnologia de Obras de
Infra-estrutura
Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado
de São Paulo
Rua Professor Almeida Prado, 532,
Prédio 01, Cidade Universitária
Butantã - SP - Brasil
CEP 05508-901
Telephone: (11) 3767-4151
E-mail: sergio.angulo@pq.cnpq.br

Élcio Duduchi Careli
Obra Limpa Consultoria e
Comércio de Resíduos da
Construção Civil Ltda.
R. Toledo Barbosa, 637, apto 14
São Paulo - SP - Brasil
CEP: 03061-000
Tel.: (11) 2796-2531
E-mail:
edcareli@obralimpa.com.br

Recebido em 19/12/2008
Aceito em 17/03/2009

Introdução

No Brasil, as primeiras pesquisas científicas envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCD) foram realizadas por Pinto (1986) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, Levy (1997) em argamassas e Zordan (1997) em concretos. As primeiras usinas de reciclagem instaladas foram pelas Prefeituras de São Paulo, SP (1991), de Londrina, PR (1993), e de Belo Horizonte, MG (1994). Em 1999, foi confirmada por Pinto (1999) a relevância do tema, apontando que o RCD pode corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais. Quanto à origem dos resíduos nos municípios brasileiros, destacam-se como predominantes as reformas, ampliações e demolições, em conformidade com os dados extraídos de Pinto e Gonzales (2005) e apresentados na Figura 1.

Entre 1999 e 2005, ante os benefícios econômicos e ambientais obtidos pela Prefeitura de Belo Horizonte, algumas prefeituras do Estado de São Paulo, como Piracicaba, Santo André e Campinas, também implantaram planos de gerenciamento de RCD.

A partir de 2000, foram desenvolvidas pesquisas sistemáticas relacionadas ao uso do RCD, como variabilidade dos agregados (ANGULO, 2000),

uso de agregados reciclados em argamassas (MIRANDA, 2000, 2005), concretos pré-moldados (BUTLER, 2003; SOUZA, 2001) e concretos em geral (ALTHEMAN, 2002; ANGULO, 2005; LEITE, 2001). Já existiam pelo menos três usinas de reciclagem privadas de pequeno porte instaladas, localizadas em São Paulo, SP (área de transbordo e triagem ATT Base), Socorro, SP (Irmãos Preto Ltda.), e Fortaleza, CE (Usifort). Foi formada a Câmara Ambiental da Construção com a participação formal do Sindicato da Indústria da Construção de São Paulo (Sinduscon-SP), Cetesb, USP e outros, para discutir, em âmbito nacional, normas técnicas para as atividades de triagem e reciclagem.

Em 2002 foi homologada a resolução CONAMA 307, definindo que grandes geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e a implantar um plano de gestão de RCD, visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta. Com isso, a reciclagem ganhou uma força extra. Iniciaram-se as implantações de planos de gerenciamento de RCD em canteiros, e normas técnicas foram elaboradas por Comitês Técnicos e publicadas pela ABNT em 2004 (Quadro 1).

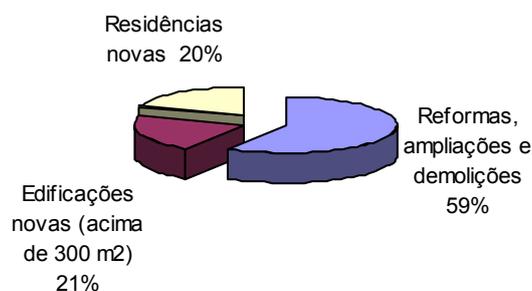


Figura 1 - Origem dos RCD em alguns municípios brasileiros

Norma	Nome
NBR 15113:2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15114:2004	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15115:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos
NBR 15116:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos

Quadro 1 - Normas técnicas relativas à reciclagem de RCD

Publicação	Unidade federativa	Instituições envolvidas	Ano
Programa Entulho Limpo (1ª Etapa) – Coleta Seletiva	DF	Sinduscon-DF, Ecoatitude e Universidade de Brasília	2000
Programa Entulho Limpo – Resíduos da construção e demolição	PE	Sinduscon-PE, Sebrae-PE e Ademi-PE	2004
Gestão ambiental dos resíduos da construção civil – A experiência do Sinduscon-SP	SP	Sinduscon-SP, Informações e Técnicas e Obra Limpa	2005
Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil	MG	Sinduscon-MG, Senai-MG e Sebrae-MG	2005
Gestão de resíduos na construção civil	SE	Sinduscon-SE, Senai-SE e Sebrae-SE	2005

Quadro 2 - Publicações sobre gerenciamento de RCD em canteiros (CARELI, 2008)

Surgiram também publicações vinculadas aos sindicatos de classe sobre gerenciamento do RCD em canteiros (Quadro 2). Merecem destaque a necessidade de articulação entre os diversos agentes envolvidos e a ação do poder público municipal para integrá-los, por meio de legislação específica, de ação coercitiva (fiscalização) e socioeducativa.

Em outras palavras, por motivos ambientais e econômicos, existe uma necessidade crescente da reciclagem. Além disso, o meio científico, empresas e o setor público têm realizado diversas ações para o desenvolvimento dessa atividade. Entretanto, existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional do gerenciamento e reciclagem de RCD. Assim, este artigo tem por objetivo apresentar o panorama atual da reciclagem de RCD no Brasil, através da análise dos benefícios da triagem de RCD em canteiros, do perfil das usinas de reciclagem nacionais, suas limitações e perspectivas, e algumas alternativas para melhorar a qualidade dos agregados reciclados.

No cenário internacional, existem países como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, entre outros, que reutilizam e reciclam entre 50% e 90% do RCD gerado (ANGULO, 2005). Na Alemanha, existem cerca de 3.000 usinas móveis e 1.600 usinas fixas (MUELLER, 2007). Apesar do alto índice de reciclagem em relação ao RCD gerado, nesses países a autora esclarece que, na média, menos de 20% do agregado natural acaba realmente sendo substituído pelo agregado reciclado, indicando que grande parte da utilização está focada em regularização/nivelamento de terrenos ou aterramento.

Porém são encontradas diversas experiências promissoras com o uso de novas tecnologias em usinas de reciclagem (ou antigas no setor da Engenharia Mineral) para a melhoria da qualidade do agregado reciclado (BUTENBACH *et al.*, 1997; JUNGSMANN *et al.*, 1997), com destaque

especial ao Japão (SHIMA *et al.*, 2005). Tais tecnologias realizam, por exemplo, lavagem dos materiais finos, separação da fração orgânica leve e britagem combinada com aquecimento para a remoção da pasta de cimento porosa dos agregados graúdos reciclados.

Metodologia

Foi realizado um levantamento do número de construtoras brasileiras que implantaram o gerenciamento de RCD em seus canteiros. Como não é possível determinar com precisão todas as construtoras que implantaram esse sistema, foram consideradas apenas aquelas que foram assistidas por empresas de consultoria ou instituições, conforme mostrado em Careli (2008). Esse número foi comparado com o total de empresas construtoras brasileiras com mais de cinco funcionários, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2006.

Além disso, foram coletados dados em obras de São Paulo e Recife quanto à geração e destinação de resíduos. Com base nesses dados, foram avaliados os benefícios ambientais e de redução de custos consequentes da triagem dos resíduos classe B.

Em seguida, a partir de visitas técnicas realizadas em usinas de reciclagem nacionais ao longo dos anos e parcialmente apresentadas em Angulo (2005) e Miranda (2005), foi identificado o perfil das usinas brasileiras, com as seguintes informações atualizadas até novembro de 2008: a taxa de crescimento de unidades instaladas, o setor responsável por sua operação (público ou privado), suas condições operacionais, sua relação com a existência de planos de gerenciamento recomendados pelo CONAMA e a capacidade instalada das usinas de reciclagem diante da demanda. A necessidade de controle de qualidade sistemática dos agregados de RCD devido à existência da variabilidade e a importância de se agregar tecnologia ao processamento para diversificar os mercados também foram analisadas.

Resultados e discussões

Triagem do RCD em canteiro de obras

O Quadro 3 apresenta o número de construtoras assistidas, de alguma forma, por empresas de consultoria e outras instituições conhecidas para a implantação do gerenciamento de RCD em seus canteiros. Elas representam cerca de 1% do total das empresas construtoras nacionais com mais de cinco funcionários, conforme dados do IBGE (191 em 20.126), e são, em sua maioria, construtoras de médio e grande portes no município em que atuam.

Nos municípios onde atuam as construtoras centralizadas no Quadro 1, os planos de gestão integrada não obrigam a apresentação dos projetos de gerenciamento de resíduos pelas construtoras como condição à liberação dos alvarás de construção. Tais empresas assumiram voluntariamente a iniciativa de adotar práticas diferenciadas de manejo e destinação dos resíduos, buscando compatibilidade com os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 307/2002. Mais de 90% das empresas enumeradas no Quadro 3 e que implantaram o gerenciamento de resíduos o fizeram em obras residenciais, principalmente edifícios multipisos. Tais obras são caracterizadas pelo uso de estruturas de concreto armado moldadas no próprio canteiro, com uso de formas em painéis de madeira e vedações em blocos de concreto ou cerâmicos.

Ainda assim, considera-se que o aumento significativo no número de construtoras que implantam a gestão de RCD em canteiro dependerá da implantação dos planos integrados de gerenciamento municipais, pois estes devem cobrar dos grandes geradores a elaboração dos projetos de gerenciamento de resíduos, como condição para licenciamento das obras, e os comprovantes de destinação para a concessão do habite-se (CARELI, 2008).

A adoção de procedimentos de registro e a identificação diferenciada durante a obra dos resíduos gerados permitem às construtoras avaliar os resultados da implantação do sistema de gestão.

Com os registros de geração de RCD de edificações habitacionais, foi possível avaliar a composição do RCD gerado, mostrado na Tabela 1. As características das obras analisadas são:

(a) Obra A: edifício residencial multipiso de 11.984 m² de área construída, no município de São Paulo, compreendendo todo seu período de execução (22 meses), com sistema de gestão de RCD implantado conforme a metodologia proposta por Sinduscon (2005); e

(b) Obra B: edifício residencial multipiso de 26.613 m² de área (42 pavimentos), no município de Recife, PE, compreendendo a fase de execução de estrutura (6 meses), com sistema de gestão de RCD implantado conforme a metodologia proposta por Sinduscon (2005)

Estado	Número de empresas assistidas	Suporte técnico
AL	12	Projeto Competir NE (Senai, Sebrae e GTZ) ¹
BA	20	
MA	09	
PI	04	
RN	06	
DF	25	Universidade de Brasília
MG	07	Senai
PE	28	Senai e Poli-UPE
SE	20	M&C Engenharia
SP	60	Obra Limpa ²
Total	191	—

¹ Construtoras participantes: Algas Eng., Dimensão Eng., Franare, Lastro Eng., Santa Cruz Eng.

² Construtoras: Barbara Eng., BKO Eng., Fortenge, Sinco, Tecnica, Tecnum, entre outras.

Quadro 3 - Construtoras assistidas por empresas de consultoria ou outras instituições para a implantação do gerenciamento de RCD em canteiros (CARELI, 2008)

Resíduo	Obra A (%) – toda a obra		Obra B (%) – apenas fase de estrutura	
	Vol.	Massa	Vol.	Massa
Classe A	50,8	79,6	37,6	80,5
Madeira	31,4	10,2	42,0	16,6
Gesso	7,1	9,2	-	-
Papel	6,9	0,6	1,6	0,2
Plástico	3,2	0,3	6,2	0,7
Metal	0,6	0,1	12,6	2,0
Total	100	100	100	100

* Obs.: Não foi considerado o volume de solo proveniente de escavação e terraplenagem

Tabela 1 - Composição média das classes dos resíduos da construção civil para uma obra de edifício residencial multipiso compreendendo todo seu período de execução (22 meses)

Os resíduos classe B (madeira, papel, plástico e metal) possuem densidade aparente inferior a 0,25 t/m³, enquanto o resíduo classe A e o gesso possuem densidade aparente superior a 1,0 t/m³. Assim, para a Obra A, apesar de o teor em massa dos resíduos classe B ser menor que 12%, ele representa mais de 40% do volume transportado.

Na Obra B, como se trata de execução de estrutura, o resíduo de madeira e de aço é maior, aumentando a importância dos resíduos classe B na composição do RCD. A presença de resíduos de papel decresceu em relação à Obra A, uma vez que este é gerado, principalmente, pelas embalagens de cimento e argamassa das etapas de alvenaria e revestimento.

A prática da triagem possibilita a redução do volume de resíduos, decorrente, principalmente, da redução do empolamento. Define-se como empolamento o aumento do volume do RCD devido à má organização deste dentro das caçambas estacionárias, formando grandes vazios. Pode ser causado, por exemplo, por grandes pedaços de madeira, metais, concreto, etc. A Tabela 2 exemplifica a influência do empolamento na redução do custo de remoção de RCD para a Obra A.

Além disso, a prática de gestão de resíduos em canteiro, que inclui a conscientização dos funcionários quanto ao desperdício, associada à certificação de qualidade ISO 9000, pode auxiliar na redução da geração de RCD no canteiro. No caso da Obra A, por exemplo, a geração de resíduos foi da ordem de 115,8 kg/m² construído, inferior ao valor de referência normalmente adotado para obras brasileiras, que é de 150 kg/m² (PINTO, 1999).

Todos esses fatores permitem uma redução do volume transportado, o que gera economia. O Sinduscon (2005) encontrou uma redução de 40% no volume transportado para as obras pesquisadas. Para a Obra A, a redução do volume transportado pode chegar a 25%, dependendo do tipo de transporte utilizado, da natureza e das dimensões dos materiais.

Evidentemente, a redução no volume transportado resulta em redução de custo para a obra. Entre 2004 e 2006, a construtora responsável pela Obra B obteve uma redução de 47% no custo com caçambas retiradas de suas obras (CARVALHO *et al.*, 2008). Para a Obra A, a redução estimada de custo é apresentada na Tabela 3.

Um ponto importante no sistema de gestão de RCD em canteiro é a destinação do mesmo. Na Obra A, localizada em São Paulo, ao longo de seus 22 meses de execução, foram utilizados oito diferentes destinatários para os respectivos resíduos e dois transportadores. Dos resíduos de alvenaria e concreto, 91% foram destinados para três aterros de RCC devidamente licenciados e 9% para três áreas de transbordo e triagem (ATT). Quanto aos resíduos de madeira, 66% foram destinados para um reciclador de madeira, e o restante, para duas ATT. Todo o resíduo de gesso foi destinado para uma ATT, que os encaminhou a cimenteiras, para reutilização como insumo da produção de cimento na fase final de moagem do clínquer. Os resíduos de alvenaria e concreto, madeira e gesso foram retirados da obra em caçambas estacionárias por uma única empresa. Em relação aos resíduos de papel, plástico e metal, viabilizou-se a coleta a custo zero pelo próprio destinatário, que comercializa aparas e sucatas com recicladores.

Redução do volume		10%	15%	20%	25%
Custo estimado da remoção de RCD (R\$/m ² de obra)	Sem triagem	5,46	5,78	6,14	6,55
	Com triagem	4,46			
Redução estimada de custos (%)		18,3	22,8	27,4	31,9

Tabela 2 - Exemplos de redução do custo para a Obra A, considerando diferentes reduções do empolamento

Redução do empolamento	10%	15%	20%	25%
Custo total estimado a 150 kg/m ² (R\$)	84.743,16	89.728,05	95.336,05	101.691,79
Redução total estimada de custos (R\$)	31.263,16	36.248,05	41.856,05	48.211,79
Redução total estimada de custos (%)	36,89	40,40	43,90	47,41

Tabela 3 - Redução total de custo associada à redução da massa de resíduos gerada por m² de construção

Para a Obra B, a situação não foi tão simples, pela dificuldade na destinação correta de alguns resíduos. Os resíduos classe A foram destinados para o aterro da Muribeca, aterro sanitário e único local licenciado para recebimento de resíduos classe A na Região Metropolitana do Recife, cuja previsão de fechamento era para 2009. Os resíduos de sacos de cimento e de argamassa não estavam sendo aceitos por empresas recicladoras, dificultando o cumprimento da legislação. Os resíduos de madeira foram destinados às olarias da região. Solução interessante foi a obtida para os resíduos de gesso, sendo parte reciclada na própria obra pela empresa responsável pela execução dos revestimentos de gesso, e o restante destinado para uso agrícola. Os revestimentos executados com gesso reciclado na própria obra apresentaram bom desempenho, conforme apresentado em Baltar, Alencar e Miranda (2008).

Destaca-se a importância de garantir o cumprimento de procedimentos específicos quanto ao registro da destinação dos resíduos, de modo a permitir o adequado controle, cabendo ao gerador dos resíduos definir os respectivos destinatários. Desse modo, para resíduos classe A, a utilização de áreas de reciclagem de RCC ou de áreas de aterro (classe A e inertes) deverá ser preferencial, em função de se tratar de áreas para destinação final dos resíduos, garantindo melhores condições de rastreabilidade e minimizando riscos para os grandes geradores.

Além da possibilidade de reduzir os custos de transporte e destinação, ressaltam-se outros benefícios decorrentes da gestão em canteiros, quais sejam: o cumprimento das determinações legais e minimização de riscos de autuação; a diferenciação na imagem institucional; uma melhor organização no canteiro; a redução dos riscos de acidentes (segurança ocupacional); e a contribuição para a qualificação dos operários. Os

trabalhos de Carvalho *et al.* (2008) e do Sinduscon (2005) dão exemplos disso.

A triagem em canteiros ainda beneficia a reciclagem nas usinas. Numa usina privada do Estado de São Paulo, inicialmente era utilizada mão-de-obra de triagem na quantidade de 1 funcionário para cada 50 m³/dia recebidos de RCD, composto de aproximadamente 90% de resíduo misto com cerâmica e até 10% de resíduos classe B. Após a implantação de uma regra na usina de se receberem somente resíduos mistos limpos ou resíduos de concreto, a necessidade de funcionários para triagem foi reduzida pela metade.

Além disso, dados de caracterização da presença de contaminantes (sulfatos, cloretos e nitratos) em 21 amostras de areia reciclada, obtidas pela moagem em moinho de martelos de RCD coletadas em obras de Recife, PE, mostraram que dez amostras continham teor de sulfato acima do limite estipulado pela DIN 4226-100/02, sendo dessas apenas duas coletadas em canteiros que já tinham implantado o sistema de gestão de resíduos (SILVA *et al.*, 2009). Isso demonstra que um sistema de gestão de resíduos em canteiro bem implantado pode ser útil para melhorar a qualidade do agregado reciclado.

Inclusive, com um sistema de gestão de resíduos em canteiro bem aplicado, que garanta que a fração classe A não será contaminada por gesso, solo, matéria orgânica ou outros, é possível pensar na reciclagem dessa fração no próprio canteiro, o que reduziria impactos ambientais como emissão de poluentes, consumo de energia e os custos envolvidos no transporte.

Esse procedimento, no entanto, deve ser realizado de forma diferente do que ocorreu na década de 90, quando moinhos argamassadeiras foram utilizados em obras para reciclagem de RCD por um processo totalmente empírico, causando patologias

em revestimentos de argamassas, como pulverulência e fissuração (MIRANDA, 2000).

Devem-se considerar a natureza e a massa de RCD classe A gerado em cada etapa construtiva da obra (estrutura de concreto, vedações verticais, revestimentos de argamassa ou cerâmicos etc.), serviços a serem executados e cronograma da obra. Devem ser priorizadas soluções de pequeno aporte tecnológico, baixo custo de investimento e procedimentos racionais de dosagem e de controle de qualidade que tenham pouca interferência nas atividades construtivas.

Usinas de reciclagem no país

A Figura 2 **Figura** apresenta o número de usinas de reciclagem da fração classe A no país. Até o ano de 2002, o país contava com 16 usinas, possuindo uma taxa de crescimento mais reduzida (até três usinas inauguradas por ano). Após a publicação da resolução CONAMA 307 e o exemplo de gestão pública bem-sucedida de Belo Horizonte, essa taxa de crescimento aumentou (de três a nove usinas instaladas por ano). Atualmente, já podem ser citadas pelo menos 47 usinas de reciclagem, sendo 24 públicas (51% do total) e 23 privadas (49% restante). Das 36 usinas que estão em operação ou em instalação, 15 (42%) são públicas e 21 (58%) são privadas.

Sabe-se que, das usinas públicas de reciclagem da fração classe A, ao menos dez estão situadas em cidades que possuem plano de gerenciamento de RCD. Através do plano de gerenciamento ocorre uma redução dos custos associados às disposições irregulares, sendo um fator de estímulo para tais investimentos. A cidade de Belo Horizonte, por exemplo, que implantou um bom sistema de gestão municipal de RCD, possui três unidades.

Por outro lado, das usinas públicas instaladas, apenas 15 estão operando ou em instalação (Tabela 4). Isso demonstra que, apesar da vantagem econômica que a administração pública pode obter mediante a redução de gastos com limpeza urbana e a obtenção de agregados reciclados cerca de 40% mais baratos que os naturais (considerando uma média de R\$ 21,00/m³ o preço dos reciclados contra R\$ 35,00/m³ dos agregados naturais), ela possui dificuldades em administrar tal atividade, por razões como:

- (a) mudança de gestão ou desinteresse desta; e
- (b) dificuldades na manutenção/operação da usina por falta de pessoal tecnicamente preparado ou demora na obtenção de verbas para a compra de peças de reposição.

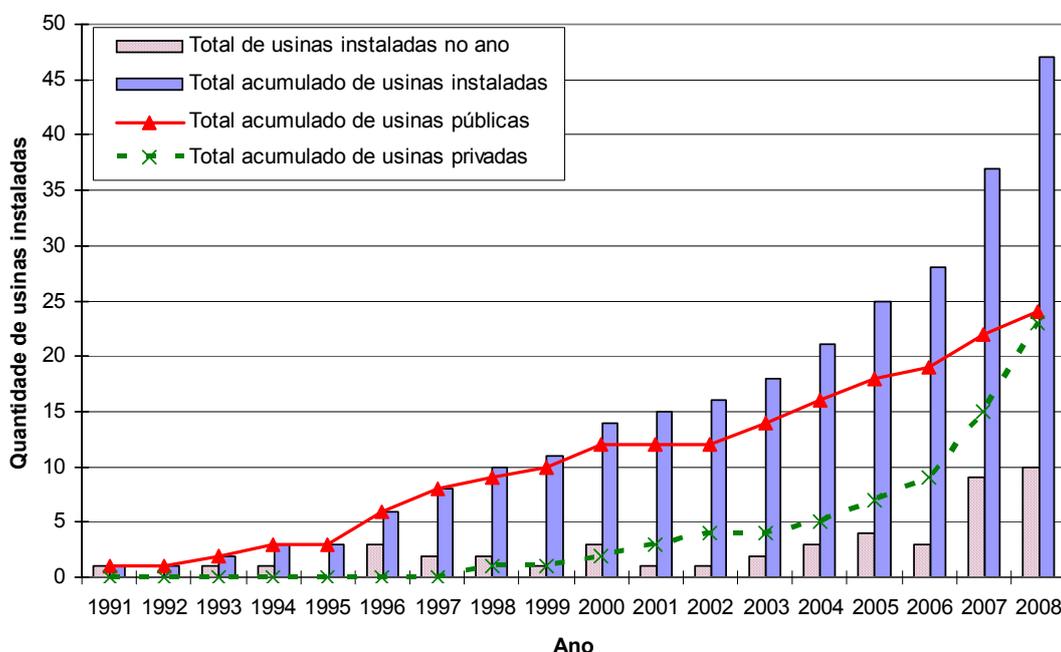
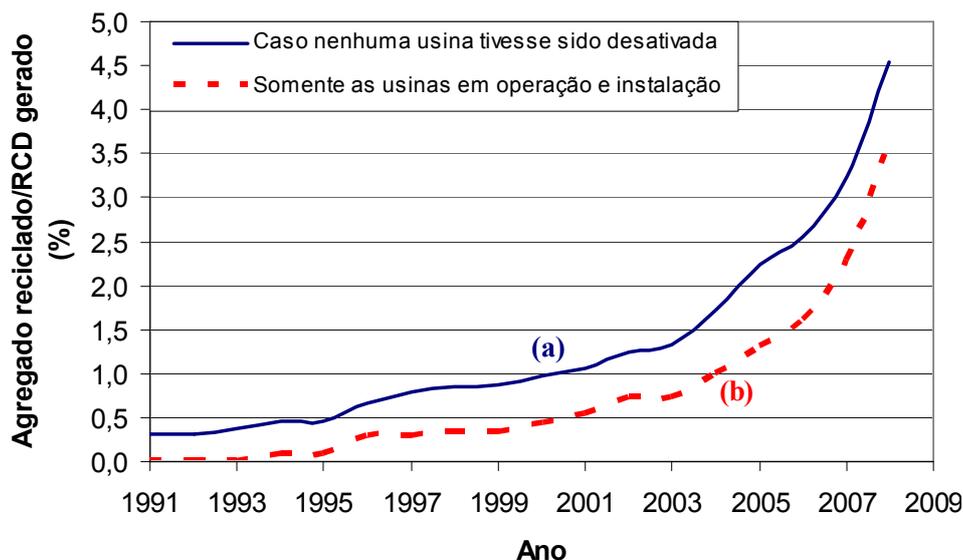


Figura 2 - Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas ao longo dos anos

Cidade	Propriedade	Instalação	Cap. (t/h)	Situação
São Paulo/SP	Prefeitura	1991	100	Desativada
Londrina/PR	Prefeitura	1993	20	Desativada
B. Horizonte/MG (Estoril)	Prefeitura	1994	30	Operando
B. Horizonte (Pampulha)	Prefeitura	1996	20	Operando
Ribeirão Preto/SP	Prefeitura	1996	30	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Emdhap	1996	15	Operando
São J. dos Campos/SP	Prefeitura	1997	30	Desativada
Muriae/MG	Prefeitura	1997	08	Desativada
São Paulo/SP	ATT Base	1998	15	Desativada
Macaé/RJ	Prefeitura	1998	08	Desativada
São Sebastião/DF	Adm. Regional	1999	5	Desativada
Socorro/SP	Irmãos Preto	2000	03	Operando
Guarulhos/SP	Prefeitura/Proguaru	2000	15	Operando
Vinhedo/SP	Prefeitura	2000	15	Operando
Brasília/DF	Caenge	2001	30	Operando
Fortaleza/CE	Usifort	2002	60	Operando
Ribeirão Pires/SP	Prefeitura	2003	15	Desativada
Ciriaco/RS	Prefeitura	2003	15	Desativada
São Gonçalo/RJ	Prefeitura	2004	35	Paralisada
Jundiaí/SP	SMR	2004	20	Operando
Campinas/SP	Prefeitura	2004	70	Operando
São B. do Campo/SP	Urbem	2005	50	Operando
São B. do Campo/SP	Ecoforte	2005	70	Desativada
São José do Rio Preto/SP	Prefeitura	2005	30	Operando
São Carlos/SP	Prefeitura/Prohab	2005	20	Operando
B. Horizonte/MG (BR040)	Prefeitura	2006	40	Operando
Ponta Grossa/PR	P. Grossa Amb.	2006	20	Operando
Taboão da Serra/SP	Estação Ecologia	2006	20	Operando
João Pessoa (PB)	Prefeitura/Emlur	2007	25	Operando
Caraguatatuba/SP	JC	2007	15	Operando
Colombo/PR	Soliforte	2007	40	Operando
Limeira/SP	RL Reciclagem	2007	35	Operando
Americana/SP	Cemara	2007	25	Operando
Piracicaba/SP	Autarquia/Semae	2007	20	Operando
Santa Maria/RS	GR2	2007	15	Operando
Osasco/SP	Inst. Nova Agora	2007	25	Instalando
Rio das Ostras/RJ	Prefeitura	2007	20	Instalando
Brasília/DF	CAENGE	2008	30	Operando
Londrina/PR	Kurica Ambiental	2008	40	Operando
São Luís/MA	Limpel	2008	40	Operando
São J. dos Campos/SP	RCC Ambiental	2008	70	Operando
Paulínia/SP	Estre Ambiental	2008	100	Operando
Guarulhos/SP	Henfer	2008	30	Instalando
Barretos/SP	Prefeitura	2008	25	Instalando
São José dos Campos/SP	Julix - Enterpa	2008	25	Instalando
Petrolina/PE	Prefeitura	2008	25	Instalando
Itaquaquecetuba/SP	Entrec Ambiental	2008	40	Instalando

Nota: há usinas em alguns municípios do estado do RS (Canoas, Caxias do Sul, Charqueadas e São Leopoldo), porém sem maiores informações e, portanto, não contabilizadas.

Tabela 4 - Usinas de reciclagem do país em novembro de 2008



Obs.: A linha (b) considera as usinas em instalação e operação em novembro de 2008.

Figura 3 - Relação entre produção de agregados e RCD gerado no Brasil

A Figura 3 mostra que, apesar da quantidade de usinas ter aumentado significativamente após a resolução CONAMA 307 (2002), a capacidade brasileira potencial de produção de agregados reciclados está muito abaixo da geração de RCD em todo o país.

Se for considerado que todas as usinas brasileiras em operação ou em fase de instalação estão reciclando RCD em sua capacidade nominal, teríamos a estimativa de que somente 3,6% do RCD produzido no país estaria sendo reciclado. Esse valor poderia chegar a 4,5% caso nenhuma usina instalada tivesse sido desativada. Isso mostra que ainda é necessário instalar muitas usinas para que a reciclagem no país se torne expressiva. A considera que a geração de RCD não foi alterada ao longo dos anos, tomando como base a produção média de 500 kg/hab.ano, como estimado por Pinto (1999).

O aumento do número de usinas privadas instaladas decorre da perspectiva dos empresários de ser esta uma boa alternativa de investimento, com baixo investimento de capital e alta taxa de retorno. As avaliações econômicas feitas por esses autores para as cidades de São Paulo, São Luís, Recife e Curitiba, por exemplo, mostram que, dependendo do mercado local, uma usina com capacidade real de produção de 250 m³/dia pode apresentar um custo total de investimento estimado em R\$ 650.000,00 e uma taxa mensal de retorno próxima a 4,5%, caso atinja sua capacidade máxima de produção e a comercialize.

Miranda (2005) mostram que até pequenas usinas podem ser viáveis, desde que logisticamente bem posicionadas e focadas em mercados e/ou serviços

que incorporem valor ao produto. Isso é o que acontece, por exemplo, com a usina Irmãos Preto Ltda., que está há mais de dez anos no mercado removendo e reciclando cerca de 50% do RCD da cidade de Socorro, para a produção de areia reciclada.

Em Belo Horizonte, a Prefeitura usa na pavimentação desde 1994 os agregados reciclados produzidos em suas usinas. Em 2005, a Prefeitura de São Bernardo do Campo consumiu cerca de 4.800 m³ de agregado reciclado do tipo bica corrida para a manutenção de ruas não pavimentadas. Para o mesmo tipo de uso e na mesma época, a Prefeitura de Mauá consumiu cerca de 4.000 m³. Ambas as obras foram realizadas com êxito. Ainda em 2005, a sub-base do Campus Zona Leste da USP, em São Paulo, foi realizada com agregados reciclados.

Em Socorro, SP, uma nova etapa do asilo municipal teve a alvenaria toda revestida com argamassa de cimento, cal e areia reciclada lavada. A trabalhabilidade das argamassas e o desempenho dos revestimentos foram aprovados pelos pedreiros locais e pelos ensaios de controle tecnológico apresentados em Miranda (2005).

Em relação ao processo de reciclagem, quase todas as usinas brasileiras são bem semelhantes. São compostas dos seguintes equipamentos: pá carregadeira ou retroescavadeira, alimentador vibratório, transportadores de correia, britador de mandíbula ou impacto, separador magnético permanente ou eletroímã, e peneira vibratória. Nenhuma apresenta uma rotina de controle de qualidade dos agregados produzidos.

Esse modelo de usina de reciclagem foi baseado em usinas de mineração que, apesar de serem sistemas semelhantes, possuem diversas diferenças, como, por exemplo:

- (a) na usina de reciclagem, a matéria-prima a ser cominuída normalmente contém materiais contaminantes, como papel, plástico, madeira, gesso, amianto e solo. Esses materiais devem ser removidos do RCD, seja pela etapa de triagem manual, seja por processos mecanizados;
- (b) na usina de reciclagem, os teores de cerâmica, argamassas e concretos porosos variam, afetando sua qualidade e desempenho, já que grande parte dos requisitos mecânicos depende da porosidade, ou seja, procedimentos para redução de variabilidade dos agregados reciclados são importantes; e
- (c) o tipo de equipamento utilizado e a natureza do RCD podem influenciar em propriedades importantes do agregado, como lamelaridade e teor de finos, e na viabilidade econômica da usina. Por isso, um circuito correto de reciclagem deve levar em consideração essas propriedades.

Normalização e variabilidade

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

A norma NBR 15116:2004 classifica os agregados em dois tipos:

- (a) agregado reciclado de concreto (ARC), cujo teor de fragmentos à base de cimento e rochas é maior que 90%; e
- (b) agregado reciclado misto (ARM), cujo teor é menor que 90%. Essa classificação, na prática, é simples: basta na usina controlar-se visualmente os RCD que chegam e armazenar separadamente aqueles predominantemente originados de concreto daqueles com presença de materiais cerâmicos.

A dificuldade para qualquer aplicação está no controle da variabilidade das características físicas ou na presença de impurezas e contaminantes (Tabela 5).

Para uso em pavimentos, os agregados reciclados podem não atender aos limites granulométricos

impostos. Na obra do campus da USP Zona Leste, em São Paulo, observou-se uma variação significativa do CBR e do teor de finos < 0,42 mm da brita corrida reciclada que, em alguns casos, impedia sua utilização como base de pavimento (LEITE, 2007).

Para uso em argamassas, Miranda (2005) mostrou que as propriedades de absorção de água e teor de finos < 0,075 mm são as principais causadoras de variabilidade de desempenho.

Como exemplo, têm-se duas amostras de areia reciclada mista de uma mesma usina, uma com 7% de absorção de água e de teor de finos < 75 µm, enquanto a outra tem 15% dessas mesmas propriedades. Ambas estão dentro dos limites da NBR 15116:2004, mas são duas areias de desempenhos bem diferentes; a primeira certamente com qualidade superior à segunda, conforme demonstrado em Miranda (2000), mediante ensaios mecânicos em argamassas e desempenho de revestimentos de paredes.

Para uso em concreto, Zordan (1997), Leite (2001) e Angulo (2005) demonstraram que a porosidade do agregado graúdo reciclado (determinada indiretamente pela absorção de água) também afeta significativamente as propriedades físicas e mecânicas do concreto, inclusive no estado fresco, incluindo sua durabilidade (LEVY, 1997).

Outras pesquisas têm sido realizadas para adaptar ou inovar o método de caracterização dessa propriedade (DAMINELI, 2007; DIAS, 2004; LEITE, 2001). Daminesi (2007) e Dias (2004) comprovam que o método de determinação da absorção de água pela norma brasileira possui limitações, geralmente subestimando a porosidade do agregado reciclado. O uso de vácuo e o método de secagem para se determinar a condição saturada com superfície seca são promissores, inclusive podendo acelerar a realização do ensaio.

Mesmo que os agregados atendam aos limites definidos pela NBR 15116:2004 e não exista o risco de desempenho, a presença de pequenos pedaços de papel ou madeira pode ser suficiente para que determinada construtora deixe de consumir o agregado reciclado. Isso foi vivenciado por um dos autores durante sua permanência na usina Urbem Tecnologia Ambiental e demonstra claramente que o consumidor pode ser mais exigente que a norma brasileira, requerendo agregados de melhor qualidade.

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

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

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

Tabela 5 - Variabilidade dos agregados reciclados encontrada por pesquisadores

Para uso do agregado reciclado em pavimento, a variabilidade pode ser reduzida estabilizando-se com aglomerante (MOTTA, 2005) ou empregando-se energia de compactação mais intensa (LEITE, 2007), que promove quebra dos agregados reciclados e altera sua granulometria. Silva e Miranda (2008) apresentaram uma alternativa para reduzir a variabilidade das propriedades físicas e mecânicas da brita corrida reciclada e para aumentar o valor do CBR, compondo-se a curva granulométrica por frações separadas de areia, pedrisco, brita e rachão, seguindo a curva granulométrica proposta pelo DNER.

Entre outros resultados obtidos por Silva e Miranda (2008), cita-se o CBR, que chegou a triplicar de valor e a reduzir seu coeficiente de variação médio de 36,31% para 9,65%, quando se aplicou a técnica de controle granulométrico. Também, através do controle granulométrico, além de melhorar o coeficiente de uniformidade do agregado, reduzindo seu índice de vazios, foi possível evitar que amostras de brita corrida

reciclada apresentassem um teor de finos < 0,42 mm superior a 40% (limite máximo definido pela NBR 15116).

Para uso do agregado reciclado no concreto, uma possível solução para se reduzir a variabilidade, já amplamente estudada na literatura, é realizar uma mistura de agregados reciclados e naturais. Limitando-se os teores de agregado reciclado em relação ao agregado natural, a variabilidade das propriedades pode ser reduzida, e os limites impostos por normas podem ser atendidos (Tabelas 6 e 7). Isso pode ser realizado industrialmente por um dosador de agregados, por silos conectados aos transportadores de correia com controle de vazão. Todos os transportadores de correia descarregam num transportador principal, o que possibilita realizar a mistura.

Miranda (2005) empregou classificadores espirais para remover a fração orgânica leve e os finos < 75 µm, junto com um processo de homogeneização, na usina Irmãos Preto, em Socorro, SP.

Parâmetro	Brita granítica	Brita reciclada
Teor de não minerais (%)	0,00	4,00
Teor de finos (%)	1,00	20,00
Absorção de água (%)	0,50	20,00

Tabela 6 - Parâmetros da brita granítica e da brita reciclada

Parâmetros	Substituição da brita natural pela reciclada										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Teor de não minerais (%)	0,00	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00
Teor de finos (%)	1,00	2,90	4,80	6,70	8,60	10,50	12,40	14,30	16,20	18,10	20,00
Absorção de água (%)	0,50	2,45	4,40	6,35	8,30	10,25	12,20	14,15	16,10	18,05	20,00

* Resultados em cinza: não atendem aos limites da NBR 15116.

Tabela 7 - Exemplo de variação de propriedades dos agregados com diferentes teores de substituição da brita granítica natural pela brita reciclada

Os classificadores espirais são utilizados para separações por tamanho de partículas, tal como outros equipamentos de classificação. São equipamentos de simplicidade construtiva, porém robustos. Eles são constituídos de tanque dentro do qual gira uma espiral. O movimento da espiral agita a polpa (mistura de areia e água), mantendo-a em suspensão. Variando-se a proporção de sólidos e água, variará a densidade da polpa e sua viscosidade. As partículas sólidas alimentadas ao classificador encontram essa polpa e, dependendo de seu tamanho, têm peso suficiente para afundar ou não. Se afundam, acumulam-se no fundo do classificador, de onde são arrastadas tanque acima pelo movimento da espiral. Se não conseguem afundar, transbordam do classificador. A faixa de ideal de operação dos classificadores varia entre 800 µm e 74 µm (CHAVES, 1996).

As técnicas de lavagem e homogeneização reduziram, respectivamente, a variação do teor de finos (1,4–3,2%) e da absorção de água (4,0–6,0%), produzindo argamassas e revestimentos mais homogêneos e com desempenho satisfatório, quanto à trabalhabilidade, ao surgimento de fissuras, aderência ou resistência superficial. O custo de implantação de um processo de lavagem e homogeneização não chega a 5% do custo total da usina.

Entretanto, para aplicação do processo de lavagem, é obrigatório, por questões econômicas e ambientais, fazer a reutilização não só da água de lavagem como também do pó removido. Com isso, o consumo de água se reduz basicamente à molhagem do agregado, o que já seria feito na obra no momento de sua utilização.

Considera-se fundamental que as usinas de reciclagem implantem o controle de qualidade sistêmico dos agregados, atividade que ainda é

ausente em todas as usinas do país. Com menos de 2% do custo de implantação de uma usina de reciclagem, já é possível montar um laboratório capaz de caracterizar todas as propriedades controladas pela norma, com exceção do Índice de Suporte Califórnia (CBR), que teria que ser terceirizado por necessitar de uma prensa. O custo estimado do controle tecnológico dos agregados reciclados, em uma usina com capacidade de produção de 40 m³/h, é de apenas R\$ 0,50/m³ produzido e pode facilitar a comercialização pela segurança transmitida ao consumidor.

Conclusões

Cerca de 1% das empresas nacionais já foram assistidas para a implantação de planos de gerenciamento de RCD em canteiros, sendo esse percentual composto principalmente de construtoras de médio e grande portes. A triagem de RCD em canteiros apresenta vantagens econômicas e ambientais, porque reduz o volume das classes de resíduos transportados, viabiliza soluções mais simples de reciclagem do resíduo classe A, seja em canteiro ou em usinas, e permite a reciclagem de todos os resíduos da classe B – madeira, plástico, aço e papel.

A taxa de crescimento das usinas de reciclagem brasileiras aumentou após a vigência da resolução CONAMA 307. Cerca de 45% das usinas nacionais são privadas. A produção das usinas públicas é intermitente devido às dificuldades administrativas, às mudanças de cenário político e ao pouco conhecimento técnico.

As normas não garantem a homogeneidade dos agregados reciclados, nem sua aceitação no mercado. O custo do controle de qualidade é baixo e precisa ser implantado com o intuito de se reduzir a variabilidade e de melhorar a qualidade e

a confiabilidade do produto. Algumas estratégias para se reduzir a variabilidade são apresentadas, tais como o uso de dosador para se produzirem misturas de agregados reciclados e naturais, e classificador espiral para remover fração orgânica leve e finos da areia reciclada. Usos para a areia reciclada precisam ser definidos porque nenhuma usina de reciclagem é capaz de produzir apenas brita reciclada.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ALTHEMAN, D. **Avaliação da Durabilidade de Concretos Confeccionados com Entulho de Construção Civil**. Campinas, 2002. 102 f. Relatório (Iniciação Científica) – Universidade de Campinas.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C. *et al.* Utilização de Pilhas de Homogeneização para Controle de Agregados Miúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados In: **CONSTRUÇÃO 2001: por uma construção sustentável**, 2001, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001. p. 713-720.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. São Paulo, 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BALTAR, L.; ALENCAR, C.; MIRANDA, L. F. R. Avaliação da Reciclagem de Resíduos de Gesso em Canteiro de Obra do Recife. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA APLICADA PARA A ARQUITETURA E ENGENHARIA SUSTENTÁVEIS**, 2008, Olinda. **Anais...** Olinda, Sinaenco, 2008.

BODI, J. Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL**, 29., São Paulo, 1997. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI /UPE, 1997. p. 56-63.

BUNTENBACH, S. *et al.* Wet Processing of Demolition rubble. **Aufbereitungs-Technik**, v. 38, n. 3, p. 130-138, 1997.

BUTLER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. São Carlos, 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CARELI, E. D. **A Resolução CONAMA nº 307/2002 e as Novas Condições para Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição**. São Paulo, 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008.

CARVALHO, R. C. A. *et al.* Análise da Gestão Racional de RCD em Canteiros de Obras da Região Metropolitana do Recife, RMR. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 12., Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008.

CHAVES, A. P. **Teoria e Prática de Tratamento de Minérios**. São Paulo: Signus, 1996. v. 2.

CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

DAMINELI, B. L. **Estudo de Métodos para Caracterização de Propriedades Físicas de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados**. São Paulo, 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DIAS, J. F. **Avaliação de Resíduos da Fabricação de Telhas Cerâmicas para seu Emprego em Camadas de Pavimento de Baixo Custo**. São Paulo, 2004. 268 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

JUNGMANN, A. *et al.* Building Rubble Treatment Using Alljig in Europe and USA. **Aufbereitungs-Technik**, v. 38, n. 3, p. 130-138, 1997.

LEITE, M. B. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEITE, F. da C. **Comportamento Mecânico de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil de Base e Sub-Base de Pavimentos**. São Paulo, 2007. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEVY, S. M. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos**. São Paulo, 1997. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo de Fatores que Influem na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado**. São Paulo, 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao Desenvolvimento da Produção e Controle de Argamassas de Revestimento com Areia Reciclada Lavada de Resíduos Classe A da Construção Civil**. São Paulo, 2005. 441 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MOTTA, R. dos S. **Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil para Aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego**. São Paulo, 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MUELLER, A. **Closed Loop of Concrete Rubble? Bauhaus Universitat Weimar** [notas de aula]. 2007. Disponível em: <www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Gastvorlesung/Baercelona/Lecture07.pdf>. Acesso em: 15 set. 2008.

PINTO, T. P. P. **Utilização de Resíduos de Construção**: estudo do uso em argamassas. São Paulo, 1986. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO, T. P. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Sonstrução Urbana**. São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P.; GONZALES, J. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil**: manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Brasília: Caixa, 2005. v. 1, 196 p.

SILVA, E. C. R. *et al.* Propriedades de Agregados Reciclados Produzidos a partir de RCD Gerado em Canteiros de Obras de Recife/PE para Uso em Argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., Curitiba, 2009. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2009.

SILVA, P. C. G. da; MIRANDA, L. F. R. Análise da Influência do Controle Granulométrico nas Características Físicas e Mecânicas de Agregados Reciclados para Pavimentação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008.

SANCHEZ, M. **Estudio sobre la Utilización de Árido Reciclado para la Fabricación de Hornigón Estructural**. Madri, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Politécnica de Madri, Madri, 2004.

SINDUSCON-SP. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil**: a experiência do SINDUSCON-SP. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

SOUZA, J. G. G. **Contribuição ao Estudo da Relação entre Propriedades e Proporcionamento de Blocos de Concreto**: aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Brasília, 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SHIMA, H. *et al.* An Advanced Concrete Recycling Technology and its Applicability Assessment by the Input-Output Analysis. **Advanced Concrete Technology**, Tokio, v. 3, n. 1, p. 53-67, 2005.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado, na Confeção do Concreto.** Campinas, 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

Agradecimentos

Agradecemos à Fapesp, pelo apoio financeiro ao desenvolvimento da pesquisa de Leonardo F. R. Miranda; ao CNPq, pela bolsa de pós-doutorado de Sérgio Cirelli Angulo; ao Sr. Antônio Junqueira, da empresa Maqbrit, pelas informações fornecidas; e à usina de reciclagem Irmãos Preto, pela parceria com a pesquisa.