

# DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

ÂNGULO, Sérgio Cirelli (1); ZORDAN, Sérgio Edurado (2); JOHN,  
Vanderley Moacyr (3)

(1) Doutorando Pesquisador no PCC - E-mail [sergio.angulo@poli.usp.br](mailto:sergio.angulo@poli.usp.br)

(2) Doutorando Pesquisador no PCC - E-mail [sergio.zordan@poli.usp.br](mailto:sergio.zordan@poli.usp.br)

(3) Prof. Dr., Universidade de São Paulo – PCC - E-mail [John@poli.usp.br](mailto:John@poli.usp.br)

PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica.  
EPUSP. Cx. Postal 61548. São Paulo-SP. CEP 05424-970.

**Palavras-chave:** reciclagem, resíduos, desenvolvimento sustentável, construção civil.

## RESUMO

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos. O processo de P&D de novos materiais reciclados precisa ser feito de forma cautelosa e criteriosa para garantir o sucesso destes produtos no mercado. Este artigo aborda os benefícios e os impactos que a reciclagem de resíduos podem gerar, além de analisar os principais resíduos reciclados atualmente pelo setor da construção civil. Discute critérios julgados como essenciais no processo de P&D de produtos reciclados, indicando diretrizes para o desenvolvimento de uma metodologia que direcione este processo.

## 1. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS.

No modelo atual de produção, os resíduos sempre são gerados seja para bens de consumo duráveis (edifícios, pontes e estradas) ou não-duráveis (embalagens descartáveis). Neste processo, a produção quase sempre utiliza matérias-primas não-renováveis de origem natural. Este modelo não apresentava problemas até recentemente, em razão da abundância de recursos naturais e menor quantidade de pessoas incorporadas a sociedade de consumo (JOHN, 1999; JOHN, 2000; CURWELL; COOPER, 1998; GÜNTHER, 2000).

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, 1999; JOHN, 2000; BRITO, 1999; GÜNTHER, 2000; PINTO, 1999).

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos (GÜNTHER, 2000). Uma das formas de solução para os problemas gerados é a reciclagem de resíduos, em que a construção civil tem um grande potencial de utilização dos resíduos, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais (JOHN, 2000; LEVY, 1997; PINTO, 1999).

Na verdade, sabe-se que ações isoladas não irão solucionar os problemas advindos por este resíduo e que a indústria deve tentar fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não renovável (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

De uma forma geral, estes ciclos para a construção tentam aproximar a construção civil do conceito de desenvolvimento sustentável, entendido aqui como um processo que leva à mudanças na exploração de recursos, na direção dos investimentos, na orientação do desenvolvimento tecnológico e nas mudanças institucionais, todas visando à harmonia e ao entrelaçamento nas aspirações e necessidades humanas presentes e futuras. Este conceito não implica somente multidisciplinariedade, envolve também mudanças culturais, educação ambiental e visão sistêmica (BRANDON, 1998; ANGULO, 2000; JOHN, 2000; ZWAN, 1997).

Embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que existem impurezas na matéria-prima, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico (SOUZA *et al.*, 1999; JOHN, 2000).

Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios citados abaixo:

- Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000).
- Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).
- Redução do consumo de energia durante o processo de produção. Destaca-se a indústria do cimento, que usa resíduos de bom poder calorífico para a obtenção de sua matéria-prima (co-incineração) ou utilizando a escória de alto-forno, resíduo com composição semelhante ao cimento (JOHN, 2000).
- Redução da poluição; por exemplo para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999).

## **2. IMPACTOS DA RECICLAGEM**

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem

tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo o era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados.

A quantidade de materiais e energia necessários ao processo de reciclagem pode representar um grande impacto para o meio ambiente. Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva. Tal energia dependerá da utilização proposta para o resíduo, e estará diretamente relacionada aos processos de transformações utilizados. Além disso, muitas vezes, apenas a energia não é suficiente para a transformação do resíduo. São necessárias também matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente.

Como qualquer outra atividade, a reciclagem também 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.

Um parâmetro que geralmente é desprezado na avaliação de produtos reciclados é o risco à saúde dos usuários do novo material, e dos próprios trabalhadores da indústria recicladora, devido a lixiviação de frações solúveis ou até mesmo pela evaporação de frações voláteis. Os resíduos muitas vezes são constituídos por elementos perigosos como metais pesados (Cd, Pb) e compostos orgânicos voláteis. Estes materiais mesmo quando inertes nos materiais - após a reciclagem - podem apresentar riscos, pois nem sempre os processos de reciclagem garantem a imobilização destes componentes.

Dessa forma, é preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima pelo processo de reciclagem escolhido.

### **3. A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NO BRASIL**

Comparativamente a países do 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.

Este atraso tem vários componentes. Em primeiro lugar, os repetidos problemas econômicos e os prementes problemas sociais ocupam a agenda de discussões políticas.

Mesmo a discussão mais sistemática sobre resíduos sólidos é recente. No Estado de São Paulo só recentemente iniciou-se a discussão de uma Política Estadual de Resíduos Sólidos, na forma de um texto de lei aprovado pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente. Este projeto de Lei estabelece uma política sistemática de resíduos, incluindo ferramentas para minimização e

reciclagem de resíduos. Atualmente está em discussão no CONAMA um texto que consolida os 6 projetos de lei em tramitação no Congresso Nacional<sup>1</sup>.

Assim, em larga medida a questão ambiental no Brasil, ainda é tratada como sendo um problema de preservação da natureza, particularmente florestas e animais em extinção, deposição em aterros adequadamente controlados e controle da poluição do ar, com o estado exercendo o papel de polícia. A recente lei federal de crimes ambientais (nº9.605, 13 Fev 1998) revela um estado ainda mais voltado a punição das transgressões a legislação ambiental vigente do que em articular os diferentes agentes sociais na redução do impacto ambiental das atividades, mesmo que legais, do desenvolvimento econômico. Um contraponto a esta ação predominantemente policial foi a iniciativa pelo Governo do Estado de São Paulo, através da CETESB, de implantação de 17 Câmaras Ambientais setoriais, inclusive construção civil.

Recentemente o governo federal através da portaria antigo Ministério da Indústria, Comércio e Turismo nº92 (06 Agosto 1998) criou um grupo de trabalho inter-ministerial com o objetivo de elaborar proposta de Programa Brasileiro de Reciclagem que estabeleça diretrizes que permitam incrementar e valorizar a utilização, como matérias-primas, de resíduos industriais, minerais e agropecuários, bem como o desenvolvimento do parque industrial nacional reciclador (MCT, 1999). Embora a portaria tenha estabelecido um prazo de 90 dias para o encerramento dos trabalhos, até o momento não se tem nenhum desdobramento pratico e teme-se que a iniciativa tenha sido afetada no processo de transição do governo federal.

Uma medida positiva foi a promulgação no dia 12 de Maio de 1999 da Lei do Estado de São Paulo nº10.311, do Selo Verde, um certificado de qualidade ambiental, a ser conferido pela CETESB, a estabelecimentos sediados no Estado de São Paulo que executem programas de proteção e preservação do meio ambiente, com efetivo cumprimento das normas ambientais (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999). Apesar de não ser voltada para a identificação de produtos, trata-se de um avanço significativo.

A inexistência destas marcas de qualidade ambiental de produtos demonstra que, diferente de outros países, as empresas brasileiras que eventualmente reciclem não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, apesar do consumidor, mantido o preço e a qualidade, preferir produtos com menor impacto ambiental (MORENO, 1998).. Um das causas possíveis para este aparente desinteresse é um eventual receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade. Esta dúvida somente pode ser resolvida através de pesquisa de mercado.

### **3.1. A experiência da indústria da construção brasileira**

Sem qualquer sombra de dúvida a maior experiência brasileira na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla

---

<sup>1</sup> Contato pessoal com a Dra. Lúcia Sena, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo.em 25 de Maio de 1999.

principalmente escórias de alto forno básica e cinzas volantes. YAMAMOTO *et al.* (1997) estimam que em 1996 a indústria cimenteira brasileira ao adotar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto forno básicas, além da calcinação de argilas e adição de *filler* calcário, reduziu a geração de CO<sub>2</sub> em 29% e uma economia de combustível de 28%. Adicionalmente, MARCIANO; KHIARA (1997) estimam que a indústria cimenteira economizou entre 1976 e 1995 cerca de 750 mil toneladas de óleo combustível queimando resíduos, como casca de arroz, serragem e pedaços de madeira, pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, cascas de babaçu, entre outros. Atualmente a indústria cimenteira inicia no Brasil a prática de co-processamento, definido como calcinação de resíduos em fornos de cimento, reduzindo o consumo de energia e diminuindo o volume de resíduos em aterros.

### **3.1.1. Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD)**

A reciclagem de RCD como material de construção civil, iniciada na Europa após a segunda guerra mundial, encontra-se no Brasil muito atrasada, apesar da escassez de agregados e área de aterros nas grandes regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90% recentemente, como é o caso da Holanda (ZWAN, 1997; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000), que já discute a certificação do produto (HENDRICKS, 1994).

A variação da porcentagem da reciclagem dos RCD em diversos países é função da disponibilidade de recursos naturais, distância de transporte entre reciclados e materiais naturais, situação econômica e tecnológica do país e densidade populacional (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

Embora já se observe no mercado a movimentação de empresas interessadas em explorar o negócio de reciclagem de RCD e não apenas o negócio de transporte, as experiências brasileiras estão limitadas em ações das municipalidades (PINTO, 1999) que, buscam reduzir os custos e o impacto ambiental negativo da deposição do enorme massa de entulho (média de 0,5 ton/hab. ano, obtida segundo dados de PINTO (1999) no meio urbano para algumas cidades brasileiras de médio e grande porte).

Algumas municipalidades como a de Belo Horizonte (CAMPOS *et al.*, 1994) operam plantas de reciclagem, produzindo principalmente base para pavimentação. Adicionalmente a tecnologia de reciclagem de RCD em canteiro pode ser empregada para a produção de argamassas, aproveitando inclusive a atividade pozolânica conferida por algumas frações cerâmica (LEVY; HELENE, 1996).

A reciclagem de RCD para argamassas e concretos já foi estudada e tem se mostrado viável em estudos brasileiros do ponto de vista tecnológico e econômico. Entretanto, a avaliação do risco ambiental não foi avaliada (LEVY, 1997; MIRANDA, 2000; HAMASSAKI *et al.*, 1997; ZORDAN, 1997; BARRA, 1996; MORALES, ANGULO, 2000).

A reciclagem de pavimento asfáltico, introduzida no mercado paulistano no início da década de 90 é hoje uma realidade nas grandes cidades brasileiras, viabilizando a reciclagem tanto do asfalto quanto dos agregados do concreto asfáltico.

Um dos problemas mais graves nos RCD é variabilidade de composição e conseqüentemente, de outras propriedades desses agregados reciclados (ANGULO, 2000; ZORDAN, 1997; PINTO, 1999; HARDER; FREEMAN, 1997; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

A recente introdução maciça de gesso na forma de revestimentos ou placas no Brasil pode ser um complicador para a reciclagem dos RCD, caso processos de controle não sejam instalados em Centrais de Reciclagem.

A solução para alguns contaminantes presentes nos RCD (plásticos e madeiras) pode ser o emprego de tanques de depuração por flotação e separadores magnéticos (QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999); mas, em alguns casos, a retirada das fases contaminantes pode ser algo bem mais complexo, como compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos (MULDER *et al.*, 2000).

A solução para a variabilidade da composição e das outras propriedades desses agregados pode ser o manejo em pilhas de homogeneização, reduzindo esta variabilidade. O que se sugere, é o emprego dos agregados em diversas finalidades, porém com um adequado controle, permitindo a valorização do resíduo e não simplesmente destiná-lo para as necessidades de pavimentação, que são as de menores exigências de qualidade (ANGULO, 2000).

Atualmente, existem ações em desenvolvimento para regulamentar e facilitar a gestão urbana desses resíduos: grupo do Conama e grupo da Câmara Ambiental de São Paulo. A seguir, serão destacados alguns itens que estão em discussão nestes grupos:

- Viabilização da deposição legal da fração mineral: tem como objetivo permitir o uso da fração mineral sem riscos de contaminação ambiental do lençol freático ou dos componentes reciclados quando utilizados dentro do princípio de reaproveitamento/reciclagem do material e viabilizar o processo de reciclagem com otimização das potencialidades do resíduo. Este processo prevê o licenciamento de Estação de transbordo e classificação.
- Desenvolvimento de mercado para reciclados de resíduo mineral: deve prever também a existência de mercado privado para os componentes reciclados. A diversificação de produtos aumenta a possibilidade de consumo dos mesmos, além de que as características de heterogeneidade do resíduo exigem a aplicação em diversas finalidades, sempre com o objetivo de máxima valorização do resíduo para o aumento de competitividade com os componentes tradicionais. As ferramentas de controle de qualidade e processo são indispensáveis.

### **3.1.2. Reciclagem de escória de alto forno**

A produção anual de escórias de alto forno no Brasil em 1996 foi de 6,4 milhões de toneladas, sendo que 0,7 milhões são resfriadas lentamente<sup>2</sup> e o restante gera material granulado, sendo, portanto adequada à reciclagem como aglomerantes. Uma grande parte da escória granulada é consumida pela

---

<sup>2</sup> Palestra de Maria Cristina Yuan, IBS no PCC USP em 26/11/1998

indústria cimenteira. No entanto, uma parte considerável, mesmo a de composição alcalina, permanece acumulada em aterros.

O mercado brasileiro ainda não dispõe de escória moída para mistura em betoneira e nem de agregados leves de escória. A produção de agregados leves é feita através da peletização da escória (PERA, 1996), em um processo onde fluxo de escória líquida é interceptado por uma roda dentada rotatória, resfriada com pequena quantidade de água, e projetada em na forma de grãos de tamanho variável. Os grãos menores são predominantemente vítreos e podem ser utilizados na produção de cimento e os grãos maiores constituem-se em agregados leves.

No atual momento a indústria siderúrgica já considera o foco ambiental como parte de sua estratégia competitiva, valorizando economicamente seus resíduos, diversificando o seu mercado consumidor. Recentemente este interesse levou a construção da primeira fábrica brasileira de cimento que não dispõe de forno próprio para a produção de clínquer, a cimento Mizu. Esta fábrica opera produzindo cimento CPIII que é adquirido pelo oriente e também pelo mercado nacional. Localizada dentro da área da CST, está capacitada a produzir cerca de 700 mil toneladas de cimento ao ano. Atualmente a CST também esta exportando escória granulada para os EUA.

Os efeitos ambientais deste tipo de cimento são substancialmente menores do que os gerados pelo cimento Portland comum, significativamente perceptíveis quando se avalia o ciclo de vida deste novo cimento. Notadamente as emissões ao meio ambiente e o consumo de matérias-primas são reduzidos. Além disso, o aumento da durabilidade das estruturas de concreto confeccionadas com a adição de escória de alto forno, diminuem os custos de manutenção dessas obras (BIJEN, 1996).

Além das escórias de alto forno, a indústria siderúrgica brasileira produz cerca de 3,2 Mton de escórias de aciaria, tanto elétrica como de conversor LD. De composição variáveis entre as diferentes industrias e mesmo tipos de aço, estas escórias são expansivas, uma vez que apresentam grandes teores de aço (em alguns casos acima de 20%), CaO, MgO e o instável  $\gamma\text{C}_2\text{S}$ . Apesar dos riscos envolvidos este produto, após a remoção mecânica das frações mais ricas em metal, e envelhecimento, dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia indicam que cerca de 38% tem sido recicladas na forma de lastro ferroviário – especialmente na área de influência da Companhia Vale do Rio Doce e pavimentação (SILVA, 1999).

Devido a falta de critérios de controle adequados à realidade brasileira, a expansibilidade deste tipo de escória tem levado a vários desastres, tanto quando utilizada como base de pavimentação, aterro ou agregado para concreto. O desenvolvimento de critérios técnicos para análise do risco de expansão deste produto é a uma preocupação do setor siderúrgico. O método hoje existente é uma adaptação do método CBR para solos. Neste método, resultados de SILVA (1999) apresentam expansões de mais de até 10%.

### **3.1.3. Reciclagem de sucata de aço**

O setor siderúrgico é também um grande reciclador. Boa parte do aço destinado a reforço de concreto armado produzido no país é proveniente do processo de arco elétrico, que utiliza como matéria prima quase que

exclusivamente sucata<sup>3</sup>. A reciclagem desta sucata permitiu economizar em 1997 cerca de 6 milhões de toneladas de minério de ferro, evitou a geração de cerca de 2,3 milhões de toneladas de resíduos e de cerca de 11 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub><sup>4</sup>.

#### **3.1.4. Reciclagem de cinzas volantes**

O setor termoelétrico e outras indústrias que queimam carvão em caldeiras de leito fluidizado geram cerca de 1,4 M ton de cinzas volantes todos os anos e cerca de 0,36 Mton de cinzas de grelha, mas este valor deve crescer no futuro próximo. As cinzas volantes são comercializadas especialmente para a indústria de cimento, embora existam várias pesquisas para a produção de cal hidráulica e cimentos .

As cinzas de grelha não encontram aplicação no mercado brasileiro. Nos mercados inglês e norte-americano existem inclusive associações setoriais voltada a promoção e aperfeiçoamento do mercado de produto, tendo sido criada recentemente a Worldwide Coal Ash Council. A cinza de grelha, mesmo em uma grande central termoelétrica como a de Drax é integralmente comercializado como agregado, especialmente na indústria de blocos de concreto leves e de maior resistência térmica. Um dos consumidores destes agregados é a Tarmac Topblocks que produz uma linha de blocos chamada HEMETILE, contendo mais de 50% de resíduos, que utiliza como argumento de venda a sua adequação ao sistema de certificação de edifícios BREEAM.

O mercado da cinza volante como adição mineral em concretos de cimento Portland possui ainda um grande potencial de expansão. Embora esta prática traga vários benefícios ao concreto, como o aumento da durabilidade, a redução da fissuração térmica, o aumento da resistência, entre outros, o seu emprego ainda é tímido em alguns países. Enquanto na Europa a adição ao concreto alcance os 40%, no Brasil e nos EUA esse percentual não ultrapassa os 20%.

#### **3.1.5. Outros resíduos**

Existe uma grande quantidade de resíduos com potencial de emprego na construção civil e que ainda são ignorados pelo mercado e até pesquisadores brasileiros. Os resíduos derivados do saneamento urbano, ou seja, escória da incineração de lixo urbano domiciliar e lixo hospitalar e o lodo de esgoto devem apresentar um crescimento acentuado na sua produção no futuro próximo, especialmente na cidade de São Paulo, onde inexistem áreas de deposição e está previsto o saneamento do Rio Tietê. A reciclagem fosfogesso, resíduo da produção de adubos, já foi testada no passado no Brasil. No entanto os produtos apresentaram enorme tendência ao desenvolvimento de fungos na fase de uso e a tecnologia foi abandonada.

---

<sup>3</sup> Estimativa da liberação de CO<sub>2</sub> considerando que a produção de 1 ton ferro gusa libera 2,2 ton CO<sub>2</sub> (MARCIANO & KHIARA, 1997)

## **4. METODOLOGIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

Um processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado ambientalmente segura, é uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares. Assim, uma metodologia que tenha por objetivo orientar atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como materiais de construção deve reunir e articular os conceitos e ferramentas relevantes ao desenvolvimento das diferentes atividades e deve compreender os seguintes tópicos:

### **4.1. Identificação e quantificação dos resíduos disponíveis**

A determinação de dados quantitativos dos resíduos, como a quantidade nacional gerada, os locais de produção e a sua periculosidade, é de grande importância para a sua localização dentro do cenário econômico, social e político do local onde ele é gerado. Os inventários de resíduos são certamente as fontes mais fáceis de obtenção destas informações, mas nem sempre eles existem ou estão disponíveis.

Nesta etapa é necessário confirmar e detalhar os dados sobre a geração do resíduo na empresa ou na região em estudo. Além da quantidade de resíduos anual ou mensal gerada é também importante neste estágio detectar eventual sazonalidade na geração do resíduo e o volume existente em estoque.

### **4.2. Caracterização do resíduo**

É fundamental um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídio para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva a geração do resíduo fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado. É também importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento de matérias-primas; é possível operar com matérias-primas bastantes variáveis mantendo sob controle as características do produto principal variando, no entanto, a composição dos resíduos.

### **4.3. Custos associados aos resíduos**

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. Da mesma forma, o faturamento obtido quando o produto é comercializado deve ser apropriado separadamente, assim como a proporção real entre o comercializado e o estocado.

Uma das condições para viabilizar o novo produto no mercado é que seu preço de venda seja competitivo com a solução técnica já estabelecida ou que haja um nicho de mercado onde o produto apresente significativa vantagem competitiva. Para atrair o interesse do gerador do resíduo sob o estrito ponto de vista financeiro, a reciclagem precisa reduzir os custos com o resíduo, incluídos custos decorrentes da necessidade de mudança de tratamento do resíduo de forma a adequá-lo à reciclagem.

#### **4.4. Seleção das aplicações a serem desenvolvidas**

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

#### **4.5. Avaliação do produto**

A metodologia de avaliação do produto deve avaliar o produto desenvolvido em relação ao seu desempenho e a sua durabilidade. O desempenho de componentes tem por objetivo analisar a adequação ao uso, ou seja, adequação às necessidades dos usuários de um produto quando integrado em alguma edificação.

A durabilidade é um aspecto fundamental no desempenho do produto, afetando o custo global da solução e o impacto ambiental do sistema. O objetivo final do estudo de durabilidade é estimar a vida útil, definida como período de tempo durante o qual o produto vai apresentar desempenho satisfatório, nas diferentes condições de uso (SJÖSTRÖM, 1996).

#### **4.6. Análise de desempenho ambiental**

É importante que o desempenho ambiental das alternativas de reciclagem sejam avaliados além dos usuais testes de lixiviação. Estes ensaios foram desenvolvidos para análise de risco ambiental de resíduos quando depositados em aterros. Geralmente, é utilizado apenas pelos órgãos de fiscalização do meio ambiente, e nem sempre com bom senso, sendo usado até mesmo como argumento para impedir processos de tratamento e de reciclagem de resíduos.

Em recente episódio (1998) a Comissão Européia proibiu a importação do farelo de polpa cítrica brasileiro (ração animal) porque foram encontrados níveis de dioxina muito acima do permitido. Detectou-se que a causa da contaminação era a cal utilizada para absorver água da polpa e tornar a ração mais neutra, cuja procedência era a filial brasileira de uma empresa química belga (Solvay) que gera o produto como um resíduo em sua linha de produção (subproduto). No entanto, a mesma cal continua a ser utilizada na construção civil. Visto que se trata de um resíduo (é um subproduto de outro processo produtivo) ela deveria ser analisada com critérios não apenas de engenharia, mas, principalmente, relacionados à saúde pública e ao meio ambiente, tendo em vista que mesmo utilizada como um material de construção ela pode causar danos aos trabalhadores, e aos usuários da construção e também ao meio ambiente, sempre considerando o período de exposição do berço ao túmulo ("cradle-to-grave").

Isso confirma, portanto, a necessidade de normas e metodologias que avaliem a utilização dos resíduos sob uma visão holística e científica.

#### **4.7. Desenvolvimento do produto**

O desenvolvimento do produto a partir do resíduo selecionado compreende as etapas de pesquisa laboratorial para o desenvolvimento de tecnologia básica,

seguinte do desenvolvimento da tecnologia aplicada que envolve o processo de produção e ferramentas de gestão e controle da qualidade. Finalmente, um estágio de pré-produção ou produção em escala semi-industrial é recomendável para o refinamento do produto (JOHN; CAVALCANTE, 1996).

Nesta fase um conceito importante é o da engenharia simultânea, onde são analisados simultaneamente o desenvolvimento da tecnologia, o desempenho do novo produto, aspectos relativos a manutenção, confiabilidade, marketing e aspectos ambientais, todos do berço ao túmulo (SWINK, 1998).

#### **4.8. Transferência de tecnologia**

A reciclagem vai ocorrer apenas se o novo material entrar em escala comercial. Assim, a transferência da tecnologia é uma etapa essencial do processo. Para ela o preço do produto é importante, mas não é suficiente. A colaboração entre os diversos atores envolvidos no processo - geradores do resíduo, potenciais consumidores, agências governamentais encarregadas da gestão do ambiente e das instituições de pesquisa envolvidas - é fundamental para o sucesso da reciclagem, e deverá ocorrer preferencialmente desde o momento em que a pesquisa se inicia.

Além disso, há a necessidade de se convencer os consumidores finais e profissionais que utilizarão ou indicarão os novos produtos. O uso de documentação e certificados que garantam as vantagens do novo produto, bem como a colaboração de universidades e centros de pesquisa com reputação de excelência no mercado, certamente auxilia no convencimento da qualidade do produto.

### **5. CONCLUSÕES**

As metas para se atingir desenvolvimento sustentável empregando resíduos na construção civil devem contemplar a reciclagem e uma metodologia p&d é fundamental para um mercado efetivo para os resíduos. Esta metodologia deve ser criteriosa e cautelosa. Ao se analisar a reciclagem de resíduos na construção civil brasileira percebe-se falhas no processo de pesquisa e desenvolvimento, principalmente no tocante aos atores envolvidos no processo. Encontram-se problemas no desenvolvimento do produto, transferência de tecnologia e análise de desempenho ambiental. A reciclagem de RCD tenta consolidar seus processos de produção e garantia de qualidade na busca de um mercado mais diversificado e efetivo, através de ações discutidas no grupo do Conama e no grupo da Câmara Ambiental de São Paulo. O desempenho ambiental na reciclagem deste resíduo é ainda negligenciado e existem problemas na etapa de caracterização do resíduo. Embora a reciclagem de escórias e cinzas volantes tenha um mercado mais consolidado, suas aplicações são limitadas, indicando problemas na transferência de tecnologias.

### **6. REFERÊNCIAS**

ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- BARRA, M. **Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado**. Barcelona, 1996. 222p. Tese (Doutorado) - Universidade Politècnica da Catalunya.
- BIJEN, J. Blast furnace slag cement for durable marine structures. Stichting BetonPrima: The Netherlands, 1996. 62p. ISBN: 90-71806-24-3.
- BRANDON, P.S. Sustainability in management and organisation: the key issues? In: CIB BUILDING CONGRESS – MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION, Suíça, 1988. **Proceedings**. Suíça, 1998. p.1739-47.
- 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.
- CAMPOS, H.K. *et al.* 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.
- CURWELL, S.; COOPER, I. The implications of urban sustainability. **Building Research and Information**. V.26, nº1, 1998. p. 17-28.
- DORSTHORST, B.J.H; HENDRIKS, Ch. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. **Proceedings**. São Paulo, EPUSP, 2000.
- GUNTHER, W.M.R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000. **Anais**. Curitiba, 2000.
- HARDER, M.K.; FREEMAN, L.A. Analysis of the volume and composition of construction waste arriving at landfill. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT. Paris, 1997. **Proceedings**. Paris, 1997. p.595-602.
- HAMASSAKI, L.T. *et al.* Uso do entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL. São Paulo, 1997. **Anais**. São Paulo (EPUSP), 1997. p.11-20.
- JOHN, V.M.; CAVALCANTE, J.R. Conclusões. In: Workshop Reciclagem de Resíduos como Materiais de Construção Civil. São Paulo: ANTAC, 1996.
- JOHN, V.M.J. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-55.
- JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politècnica, Universidade de São Paulo.
- HENDRICKS, C.F. Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings. In: Environmental aspects of construction with waste materials. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 821-834.
- LEVY, S.M.; HELENE, P.R.L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: Workshop Reciclagem e Reutilização de resíduos como materiais de construção civil. São Paulo, 1996. ANTAC, PCC USP, UFSC. p. 137-146.
- LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politècnica, Universidade de São Paulo.
- MARCIANO, E.; KIHARA, Y. Looking green. **World Cement**. Abril, 1997.p.82-88.
- MIRANDA, L.F.R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo, 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politècnica, Universidade de São Paulo.

- MCT Consultoria jurídica. **Portaria nº92, de 06 de agosto de 1998.**  
[http://www.mct.gov.br/conjur/POR92\\_98.htm](http://www.mct.gov.br/conjur/POR92_98.htm). 22/05/99 17h 37 min.
- MORALES, G.; ANGULO, S.C. Produção de concreto de cimento portland utilizando entulho de obra reciclado. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7. Salvador, 2000. **Anais**. Salvador, ANTAC, 2000.
- MORENO, H. O foco ambientalista da construção civil. In: Seminário Materiais&Design – Interface no desenvolvimento do produto. **Anais**. São Carlos, 1998. FIESP, UFSCAR, SEBRAE. 1998. p.174-182.
- MULDER, E. *et al.* Immobilisation of PAH in waste materials. In: Waste Materials in Constructions. Inglaterra, 2000. **Proceedings**. Inglaterra, 2000. p. 953-62.
- PERA, J. State of the art report: use of waste materials in construction in western Europe. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. São Paulo, 1996. **Anais**. São Paulo (PCC-EPUSP), 1996. p.1-20.
- PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- QUEBAUD, M.R.; BUYLE-BODIN, F. A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO(CBC), 5. São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, 1999. 14p.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Governo do estado institui Selo Verde para produtos que respeitam a natureza.**  
<http://www.ambiente.sp.gov/not2105c.htm>.
- SJOSTROM, E. Service life of the building. In: Application of the performance concept in building. CIB: Tel Aviv, 1996, v.2, p.6-1;6-11.
- SILVA, E.A. Uso de escória de aciaria em pavimentação viária. In: Workshop Eco-eficiência na indústria siderúrgica. Belo Horizonte, 1999. IBS, ABM, 1999, s.p.
- SOUZA, U.E.L. *et al.* Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. In: SIMPÓSIO NACIONAL – DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NOS CANTEIROS DE OBRAS: A QUEBRA DO MITO. São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo (PCC/EPUSP), 1999. 48p.
- SWINK, M.L. Tutorial on implementing concurrent engineering in new product development. J. Operations Management, n.16, 1998. P.103-116.
- YAMAMOTO, J.K. *et al.* Environmental impact reduction on the production of blended portland cement in Brazil. **Environmental Geosciences**, v.4, nº4, 1997, p. 192-206.
- ZWAN, J.T. Application of waste materials – a success now, a success in the future. In: WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTIONS: PUTTING THEORY INTO PRACTICE. Great Britain, 1997. **Proceedings**. Great Britain, 1997. p.869-81.