

# ALGUMAS IMPLICAÇÕES ENTRE CONSTRUÇÃO CIVIL E MEIO AMBIENTE

Cristina Eliza Pozzobon

DMTM, Universidade Federal de Santa Maria

Campus Universitário – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Sala 1224

97119-900 - Santa Maria/RS - [cris@ccne.ufsm.br](mailto:cris@ccne.ufsm.br)

Janis Elisa Ruppenthal

DEGI, Universidade Federal de Santa Maria

Campus Universitário – Centro de Tecnologia, Sala 306

97119-900 - Santa Maria/RS - [janis@ct.ufsm.br](mailto:janis@ct.ufsm.br)

**ABSTRACT:** The utilization of industrial solid wastes can be a benefic strategy, as for the environmental as for the building engineering. This work discuss technological applications for industrial solid wastes in building engineering; shows a case study, that is the mineral coal ash produced at the coal-power-stations; discuss the use of waste materials and the building site management. Based on results, it is suggested considerations for environmental protection.

**KEYWORDS:** environmental management, civil construction, environmental protection

**RESUMO:** A engenharia, em seu vasto campo de atuação, oferece uma série de oportunidades para a redução dos impactos ambientais causados pelas atividades produtivas. Nesse contexto, este trabalho discute algumas implicações existentes entre construção civil e meio ambiente. Para tanto, relaciona os resíduos usados na construção civil e o grau de desenvolvimento da pesquisa no Brasil. Apresenta um estudo de caso sobre possibilidades de uso da cinza proveniente da queima do carvão mineral nas usinas termelétricas. Trata do desperdício no processo construtivo, ocasionado especialmente pela geração do entulho em obra; e do gerenciamento no canteiro de obras, mostrando melhorias tecnológicas relacionadas à preservação ambiental que estão sendo implantadas pelas empresas de construção habitacional. Conclui que a valorização de resíduos sólidos e subprodutos como matéria-prima da construção não pode resolver sozinha a problemática da eliminação de rejeitos industriais pela sociedade; contudo permite reduzir significativa parcela de matéria-prima não renovável e de insumos energéticos consumidos. Quanto ao gerenciamento, ratifica que as melhorias tecnológicas adotadas são de pequena proporção no todo, mas contribuem

para a conscientização dos envolvidos e ajudam na mudança da cultura contra o desperdício e a degradação. Além disso, a melhoria na imagem da obra e do entorno do canteiro mudam o conceito da vizinhança e de toda população sobre o setor da construção civil e contribuem para a qualidade de vida dos envolvidos.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas palavras de Vázquez (1997), a proteção ambiental é um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta na atualidade. Os elementos centrais desta preocupação são as reduções no consumo energético e de matérias-primas naturais, e a produção de resíduos.

Sob essa perspectiva, Costa (1998) cita duas razões que justificam a utilização de rejeitos industriais em produtos de construção. A primeira atende a uma conceituação geral, internacionalmente reconhecida e intimamente ligada à própria expansão e sedimentação das ações visando à preservação ambiental e ecológica do planeta. A segunda razão, mais particular ao Brasil, diz respeito ao setor da construção civil e contempla interesses de ordem técnica e econômica.

*No que concerne às razões ambientais e ecológicas, sabe-se que, em todo o mundo economicamente desenvolvido, as ações pertinentes à preservação do ambiente natural e de sua correspondente ecologia vêm ganhando, atualmente, adeptos e conseguindo vitórias através de legislações preservacionistas e de práticas produtivas cada vez menos predatórias e mais restauradoras. ...Trata-se de uma reação natural – e benigna, na medida em que provoca um deslocamento para uma posição de equilíbrio – aos excessos cometidos contra o meio ambiente por aqueles que pretendem produzir de forma indiscriminada, tendo como limites apenas sua própria economia de produção, sem considerar o impacto de suas ações sobre a ambiência e a ecologia. ...O aproveitamento de rejeitos de qualquer tipo, e em particular os rejeitos industriais, deve ser encarado como uma prática preservacionista restauradora, de elevado sentido ambiental e ecológico. Por esta razão e apenas por esta, já se justificaria a busca de utilização desses produtos na construção civil, independente de outras ações simultâneas (Costa, 1998, p. 45-46).*

Quanto as razões técnicas e econômicas, a construção civil está entre os setores que apresentam grande potencialidade para o aproveitamento de resíduos sólidos industriais. Isto se deve, basicamente, à necessidade de redução do custo da construção (Cincotto & Kaupatez, 1988), ao grande volume de recursos naturais consumidos (Sauterey *apud* Cincotto, 1988) e à grande diversidade de insumos usados na produção.

Ademais, Isaia (1995, p. 01) menciona:

*Além dos aspectos técnicos e funcionais, hoje a sociedade exige não só bom desempenho dos materiais ou da construção, mas também das interações com o meio ambiente, em busca daqueles cuja obtenção ou realização se materializam com menor impacto ecológico e menor ônus energético.*

O autor assevera que esse posicionamento foi apropriadamente colocado por Mehta (1986) quando enfatizou que a escolha dos materiais de construção deve atender ao quádruplo enfoque iniciado pela letra E: Engenharia, Economia, Energia e Ecologia.

Isaia (1996) afirma, ainda, que a perspectiva de consumo dos resíduos é uma contribuição que a engenharia oferece à sociedade, com o objetivo de preservar o meio ambiente e, ao mesmo tempo, produzir construções mais duráveis e com menor custo econômico e social.

Tal aspecto também é comentado por Tavares *et al.* (1996). Estes autores sustentam que a engenharia, na sua forma de ciência e tecnologia, pode contribuir muito à questão ambiental, através da manipulação dos seus principais fatores: tecnologia, processo, informação e recursos humanos.

Nesse contexto, este trabalho discute algumas implicações existentes entre a indústria da construção civil e o meio ambiente. Para tanto, relaciona os resíduos usados na construção civil e o grau de desenvolvimento da pesquisa no Brasil. Para exemplificar, apresenta um estudo de caso sobre possibilidades de uso da cinza proveniente da queima do carvão mineral nas usinas termelétricas.

Além disso, trata do desperdício no processo construtivo, ocasionado especialmente pela geração do entulho em obra; e do gerenciamento no canteiro de obras, mostrando melhorias tecnológicas relacionadas à preservação ambiental que estão sendo implantadas pelas empresas de construção habitacional.

## **2 O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

### **2.1 BREVE INTRODUÇÃO AO TEMA**

Nas sociedades de consumo, as principais objeções aos resíduos sólidos enquadram-se em cinco categorias: *[i]* Risco à saúde pública; *[ii]* Comprometimento estético da paisagem; *[iii]* Ocupação do espaço; *[iv]* Custo de recolhimento e processamento; e *[v]* Degradação dos recursos naturais (Maia *et al.*, 1995).

Desde meados da década de 70 observa-se uma crescente atividade de pesquisa e reflexão em torno do uso de resíduos sólidos industriais na construção civil. Essa pesquisa tornou-se mais sistemática nos últimos anos. No Brasil, isso se comprova pelos trabalhos publicados no *Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil (1996)* e nos anais dos *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Entac (1993/1995/1998)*.

Neste trabalho, definiu-se como resíduo todo produto sólido que é destinado ao aterro antes ou depois de submetido a algum processo de tratamento, já que não tem mais uso para seu gerador. O resíduo pode ser denominado de subproduto quando adquire valor comercial.

**Quadro 1: Resíduos usados na construção civil e grau de desenvolvimento da pesquisa no Brasil**

RESÍDUO	Caracterização	Risco ambiental	Alternativas de reciclagem	Estudos de laboratório	Risco ambiental do novo produto	Viabilidade econômica	Desenvolvimento do processo	Controle de qualidade/normatização	Transferência de tecnologia	Novas tecnologias
Escória de alto forno	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza volante	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Escória de aciaria	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza de grelha	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entulho de obra	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza de casca de arroz	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Escória de cobre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cinza de xisto betuminoso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fosfogesso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fibras vegetais	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Microsílica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cal de carbureto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Resíduos de madeira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Areia de fundição	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Beneficiamento de rochas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aparas de plástico	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fonte: John (1997)

O Quadro 1 apresenta alguns dos resíduos já pesquisados no país, bem como a opinião de John (1997) sobre o estágio de desenvolvimento da pesquisa avaliada. As áreas em vermelho indicam conhecimento consolidado; azul, conhecimento já desenvolvido e cinza, conhecimento incipiente ou inexistente.

## 2.2 AVALIAÇÃO DOS RESÍDUOS QUANTO AO SEU POTENCIAL DE USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na abordagem deste assunto, uma das preocupações iniciais é a classificação dos resíduos quanto ao seu potencial de uso. Nesse sentido, Cincotto (1988) relata o trabalho desenvolvido pelo Comitê de pesquisas em materiais residuais e subprodutos para construção de rodovias da *Organization for Economical Cooperation and Development* (OECD), que propõe classes de resíduos em função de sua afinidade como material de construção.

**Quadro 2: Avaliação global dos resíduos e subprodutos (omitida a Classe 4)**

CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Escória de alto forno	Escória de fosfato	Refugos de ouro
Cinza volante	Escória de cobre	Refugos de cobre
Enxofre	Finos de fabricação de cimento	Refugos de chumbo e zinco
Escória de refino	Resíduos de pedreiras	Moinha de coque
Cinza de caldeira e de grelha	Refugos de minas	Areia de fundição
Escória de níquel	Resíduo de ardósia	Resíduos de refratário e cerâmica
Resíduos de demolição	Refugos de feldspato	Resina
Rejeitos de mina de carvão	Pneus e borracha	Lignina
Resíduos de xisto betuminoso	Escórias de zinco e de chumbo	Resíduos de minas de potássio
Refugos de taconita	Cinza mista	Cinzas de pirita
Areia de tratamento de argila	Resíduos de incineração	Resíduos de vidro
Refugos de minérios de ferro		Resíduos de plástico
Resíduo de pirólise		

**Fonte: OECD (In: Cincotto, 1988)**

O Quadro 2 mostra uma relação genérica de resíduos e subprodutos para aplicações gerais e como cimentantes na construção. Os materiais foram colocados por ordem de valor para a construção de rodovias em cada classe.

- ◆ Classe 1: Materiais com potencial de aplicação máxima. Possuem as melhores propriedades tanto na sua ocorrência natural, na forma processada ou combinada, ou quando já registrado um desempenho satisfatório;
- ◆ Classe 2: Materiais que requerem um processamento mais extensivo e/ou quando as suas propriedades não são tão adequadas quanto às da classe 1;
- ◆ Classe 3: Materiais que se mostram menos promissores dos que os materiais da classe 1 e 2, recomendados somente para casos isolados;
- ◆ Classe 4: Mostram-se muito pouco promissores como material para construção civil.

As dificuldades de utilização de um resíduo como material de construção civil poderão ser de origens diferentes, tanto técnicas quanto econômicas. Numata *apud* Haddad (1997) relaciona as causas destas dificuldades:

- ◆ Falta de controle de qualidade (variabilidade inerente) do material e de aplicação do conceito garantia;
- ◆ Inadequação das especificações e normas técnicas;
- ◆ Preocupação quanto as responsabilidades civis nas inovações tecnológicas;
- ◆ Insuficiência de P & D;
- ◆ Processos industriais e preços baseados em matérias-primas virgens e produtos convencionais;
- ◆ Resistência da construção em adotar novos materiais e novas tecnologias;
- ◆ Distribuição geográfica descentralizada de pequenas quantidades de resíduos;
- ◆ Custos de classificação, coleta, armazenamento e processamento;
- ◆ Falta de informação sistematizada, particularmente entre setores industriais ou de projeto de construções diversas;
- ◆ Restrições ambientais para a aplicação de resíduos em produtos convencionais.

Desta forma, é relevante frisar a necessidade da definição de critérios para avaliação dos resíduos a serem utilizados na construção civil e nas demais indústrias.

Cincotto (1988) sustenta os estudos feitos pelo OECD, que indicam critérios gerais de avaliação de subprodutos e resíduos para uso na construção civil. De maneira análoga, Estrella (1996) enumera tais aspectos em seu trabalho.

*[i]* A quantidade disponível em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;

*[ii]* As distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;

*[iii]* O material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação na estrutura.

### **3 RESÍDUOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: APRESENTAÇÃO DO CASO DA CINZA DE CARVÃO MINERAL**

#### **3.1 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO TECNOLÓGICA**

De maneira geral, os grupos industriais que utilizam o subproduto da queima do carvão mineral, podem ser divididos em três categorias principais (Silva *et al.*: 1998; Zwonok *et al.*: 1996; Jablonski & Tyson: 1988): construção, fabricação e estabilização de resíduos.

A categoria construção é, normalmente, o maior usuário dos subprodutos do carvão mineral. As maiores aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral, dentro da categoria construção, existem tanto para a cinza leve como para a cinza pesada.

A cinza pode ser usada no concreto, sob três formas: *[i]* Como constituinte do concreto; *[ii]* Como componente do cimento e; *[iii]* Como matéria-prima na fabricação do cimento portland, no estágio de pré-queima.

O uso de cinza substituindo parte do clínquer portland, é um modo seguro e barato de removê-la da superfície do solo, contribuindo para a conservação da energia usada na fabricação de cimento, e de recursos minerais (calcário e argila), cuja exploração geralmente agride o meio ambiente (Isaia, 1996).

Silva *et al.*(1998), Zwonok *et al.* (1996) e Jablonski & Tyson (1988) relatam, ainda, outras aplicações tecnológicas da cinza do carvão mineral na construção, descritas a seguir:

- ◆ Em argamassa, de forma semelhante ao concreto;
- ◆ Nos processos de estabilização sob pressão, a cinza do carvão mineral podem ser usada tanto na forma pura como misturada ao cimento portland ou a cal;
- ◆ Na construção de aterros estruturais;
- ◆ Como bases estabilizadas e solos modificados e estabilizados para rodovias, pistas e edificações;
- ◆ Como filler mineral em pavimentos de misturas betuminosas.

A categoria fabricação, por sua vez, apesar do crescimento mostrado nos últimos anos, tanto na quantidade de resíduos utilizados como nas alternativas de uso; compõe o grupo industrial que possui, provavelmente, o maior potencial para desenvolver novas aplicações, aumentando significativamente o emprego de resíduos sólidos industriais.

Destacam-se, nessa categoria, as empresas voltadas à fabricação de componentes e elementos pré-fabricados e, ainda, artefatos de cimento.

A respeito da categoria estabilização de resíduos, Marciano Jr *et al.* (1996) comentam que alternativas bem sucedidas sobre a incorporação ou imobilização de rejeitos com cimento e em peças de concreto vêm sendo pesquisadas e empregadas na Europa e na América do Norte.

Nesse sentido, um estudo realizado por Weng & Huang (1994) comprovou que a cinza leve coletada na empresa de energia de Delmarva, estado de Newark, mostrou ser um potencial absorvente de metais pesados no tratamento de águas residuais industriais contaminadas. Embora os autores comentem a necessidade de mais testes, a argamassa preparada com 10% da cinza leve que absorveu os metais pesados, apresentou resistência, aos 56 dias, semelhante e até superior a argamassa de referência.

Parsa *et al.* (1996) apresentam um método, simples e de baixo custo, para estabilização/solidificação de resíduos perigosos, usando cinza leve. O processo, que envolve a mistura e compactação do resíduo e da cinza volante em um bloco monolítico, obteve resultados satisfatórios.

Prim *et al.* (1998) obtiveram importantes resultados quando empregada cinza pesada na estabilização/solidificação do lodo gerado pela indústria têxtil catarinense.

De maneira análoga, Behr-Andres *et al.* (1994), enumeram quatro categorias de uso para a cinza proveniente das fornalhas de carvão pulverizado: *[i]* Produtos para construção e de enchimento estrutural; *[ii]* Aplicações no solo com propósitos agrícolas; *[iii]* Aplicações em gerenciamento de resíduos; e *[iv]* Como material de aterro. Tais utilizações também são comentadas nos trabalhos de Indraratna *et al.* (1991), de Manz (1984) e de Roy *et al.* (1981).

Estrella (1996) aponta, no Quadro 3, usos encontrados em diferentes bibliografias para as cinzas leve e pesada. Desses, no Brasil, o principal mercado está na fabricação de cimento portland pozolânico (Pozzobon, 1999).

**Quadro 3: Características da cinza leve e pesada, produtos, vantagens e usos**

Resíduo	Características	Produtos elaborados	Vantagens
<b>Cinza pesada</b>	Subproduto da combustão do carvão Partículas com tamanho de 0,08 a 20mm Forma angular Muito porosa	<b>Cimento</b> <b>Agregado leve</b> <b>Sub-base de solo estabilizado</b> <b>Telha</b>	Economia de energia Aumento da capacidade de produção para um gasto de capital relativamente mais baixo
<b>Cinza leve</b>	Subproduto da combustão de carvão Menores partículas carregadas pelos gases da combustão para as chaminés Composição: SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO <sub>3</sub> Em menor quantidade: CaO, MgO e Na <sub>2</sub> O	<b>Cimento</b> <b>Concreto</b> <b>Agregado leve</b> <b>Sub-base de solo estabilizado</b> <b>Filler de asfalto</b> <b>Tijolo</b>	Economia de energia Aumento da capacidade de produção para um gasto de capital relativamente mais baixo Textura fina Baixa massa específica Facilidade de combinação com a cal livre (propriedade pozolânica) Presença de partículas esféricas Alta capacidade de absorção de água

### 3.2 PANORAMA MUNDIAL SOBRE O APROVEITAMENTO

Zwonok *et al.* (1996) informam que, apesar das muitas aplicações criadas para os resíduos da combustão do carvão mineral, o aproveitamento, hoje, em média, atinge 30% do total gerado, e varia de continente para continente, conforme mostra o Quadro 4.

**Quadro 4: Usos percentuais aproximados dos resíduos da combustão do carvão mineral**

Continentes	Porcentagem de uso
Europa	42,50
Ásia	30,00
América	27,50
África	19,00
Oceania	10,50

No Brasil, onde não existe normalização para o uso da cinza do carvão mineral produzida em usina termelétrica, o emprego sistemático de cinza volante como pozolana iniciou na década de sessenta, com a construção das estruturas de concreto do aproveitamento hidrelétrico de Jupia, então, CELUSA - Centrais Elétricas de Urubupunga S.A. Desde então, devido as características tecnológicas conferidas em Jupia, o uso de cinza volante, como material pozolânico no concreto, foi adotado na construção das grandes represas brasileiras (Zwonok *et al.*, 1996).

Ademais, a cinza tem sido usada como pozolana pela indústria cimenteira brasileira desde 1969, na fabricação do cimento portland pozolânico e do cimento portland composto.

O Quadro 5 aponta o consumo de carvão mineral, a produção discriminada e total de cinza e a quantidade de cinza leve comercializada nos últimos três anos no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – Maior potencial termelétrico em funcionamento na América Latina, localizado no município catarinense de Capivari de Baixo (Pozzobon, 1999).

**Quadro 5: Consumo de carvão mineral, produção e comercialização da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda**

Ano	Carvão mineral consumido (tonelada)	Cinza produzida (toneladas)			Cinza leve comercializada (toneladas)
		leve	pesada	total	
1.996	1.620.504,25	476.428,24	204.183,54	680.611,79	197.936,31
1.997	2.091.158,65	614.800,64	263.485,99	878.286,63	272.889,78
1.998	1.948.533,72	572.868,91	245.515,25	818.384,16	247.523,44

Os valores do Quadro 5 indicam que 29% da cinza produzida em Jorge Lacerda no ano de 1996 foi comercializada. Em 1997, o valor foi 31% e, no ano seguinte, 30%.

Segundo informações do setor responsável pela comercialização da cinza no Complexo termelétrico Jorge Lacerda, a cinza vendida foi, em sua totalidade, destinada à construção civil.

## **4 O GERENCIAMENTO DO CANTEIRO DE OBRAS**

Gerenciar significa coordenar todos serviços que interferem no processo produtivo, sem esquecer nem privilegiar nenhum deles, visando atingir o objetivo final, com a qualidade esperada, dentro do prazo definido e dos custos orçados.

Nesta ótica, o gerenciamento de um canteiro de obra possui diversas implicações com o meio ambiente, tais como: *[i]* Combate ao desperdício; *[ii]* Otimização dos materiais e dos componentes; *[iii]* Adoção de melhorias e inovações tecnológicas; *[iv]* Noções de higiene e saúde aos trabalhadores; *[v]* Preservação e conscientização ambiental; *[vi]* Imagem do canteiro e do seu entorno.

O desperdício ainda representa uma das características marcantes do setor da construção civil e um dos indicadores da falta de qualidade dentro das empresas, podendo ser manifestado (Souza *et al.*, 1995):

- ◆ Através das falhas ao longo do processo de produção. Tais falhas causam a perda de materiais que saem da obra na forma de entulho ou ficam agregados a ela sem nenhuma função, o retrabalho feito para corrigir serviços em não-conformidade com o especificado, e os tempos ociosos de mão-de-obra e equipamentos, por deficiência de planejamento de obras e ausência de uma política de manutenção de equipamentos;
- ◆ Através das falhas nos processos gerenciais e administrativos da empresa, dadas por compras feitas apenas na base do menor preço; deficiências nos sistemas de informação e comunicação da empresa; programas de seleção, contratação e treinamento inadequados; perdas financeiras por deficiência de contrato e atrasos de obra; retrabalho administrativo nas diversas áreas da empresa;
- ◆ Em função de falhas na fase de pós-ocupação das obras, caracterizadas por patologias construtivas com necessidade de recuperação e altos custos de manutenção e operação, causando prejuízo na imagem da empresa junto ao mercado.

Esse conjunto de falhas indica a necessidade de combate ao desperdício, o potencial de redução de custos e de uso de matéria-prima e o aumento da competitividade das empresas.

Algumas perdas de materiais (cimento, areia e argamassa) identificadas em processos construtivos convencionais podem ser devido ao controle de recebimento deficiente, problemas de transporte e armazenagem (contenção lateral, contaminação de materiais, altura das pilhas dos sacos de cimento, duplo manuseio, vias de transporte e equipamentos inadequados), falta de controle de traços de argamassa e enchimento de rasgos. Também pode ser identificada uma forte correlação entre as perdas e a espessura dos revestimentos, especialmente em função da geometria da estrutura e das dimensões dos componentes.

Picchi (1993) menciona que o entulho gerado nas obras brasileiras com sistema de construção convencional e estrutura independente varia em função do elemento de alvenaria utilizado e do grau de organização e controle da obra. Afirma, ainda, que na construção de edifícios é freqüente a utilização de espessuras de argamassa bastante acima do projetado para correção de imperfeições de prumo, alinhamento e nivelamento da estrutura e alvenarias; sendo a alvenaria, juntamente com o entulho, um dos maiores fatores de desperdício de materiais, estimado em 5% sobre o custo de uma obra com valores arbitrados.

No caso dos blocos cerâmicos e dos tijolos, os principais problemas que contribuem para a incidência de perdas estão na falta de controle de recebimento dos materiais, na falta de segurança dos estoques, no uso de meio de transportes inadequados, na estocagem inadequada, na falta de coordenação dimensional, falta de meios tijolos, modificações de projeto e no encunhamento (Santos *et al.*, 1996).

Por outro lado, no estudo do desperdício de materiais em alvenarias convencionais realizado por De Cesare & Formoso (1994), o primeiro ponto detectado refere-se à falta de padronização dimensional de tijolos nos diferentes canteiros. Estes autores salientam, também, que se pode reduzir o desperdício verificado no fornecimento das peças de tijolo e aumentar o controle sobre o material adquirido se as unidades forem recebidas devidamente empacotadas.

O estudo de Formoso & Jobim (1998) indica que elevados índices de perdas de materiais e componentes não são inerentes a todas as empresas do setor. Ao contrário, em algumas obras os índices de perdas para determinados produtos atingem níveis relativamente baixos, da ordem de 3 a 5%, enquanto em outras obras, as perdas chegam a valores bastante elevados; em alguns casos superando 100%. Esta grande discrepância de desempenho confirma que uma elevada parcela deste desperdício é evitável.

Franco *apud* Araújo (1995) relata que a simples organização das tarefas tradicionalmente executadas, através de um planejamento e uma programação mais eficientes pode levar a diminuição dos desperdícios, ao aumento da produtividade, do desempenho e da qualidade dos produtos acabados.

O custo total com o desperdício de materiais e componentes é composto pelos custos diretos somados aos custos indiretos de retrabalho, tempo despendido em limpeza, recursos para transporte, carga e descarga de entulhos. E pelo custo ambiental, dado pela exploração de matérias-primas, geralmente não-renováveis, geração de resíduos e disposição destes no meio ambiente. Com o emprego de técnicas adequadas e controle do processo construtivo, o desperdício e seu custo podem sofrer uma redução significativa.

#### **4.1 O ENTULHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O início da década de 90 foi marcado por uma transição, onde surgiram vários estudos sobre o que fazer com os resíduos sólidos volumosos, sejam eles podas, móveis, utensílios ou aqueles gerados pela construção civil.

Tais estudos não restringiram-se somente à teoria, realizando verificações de campo em diversas localidades urbanas, buscando descobrir, principalmente quanto ao entulho da construção civil, como é gerado, onde está disposto e qual o destino que deve ser dado. Isto aconteceu pela necessidade de revisão dos processos produtivos da construção que buscam a redução dos custos devido ao desperdício.

Denomina-se entulho ao conjunto de fragmentos ou restos de tijolo, concreto, argamassa, aço, madeira e outros; provenientes do desperdício na construção, reforma e ou da demolição de estruturas como prédios, residências e pontes.

O Quadro 6 mostra que, quando descartado como material praticamente inerte, o entulho causa ônus e problemas associados ao seu volume. Ao ocupar o lugar do lixo domiciliar, o entulho onera as operações de transporte e destino final.

**Quadro 6: Presença de resíduos da construção e demolição em aterros**

CANADÁ	1994 (Kalin Associates) Participação dos entulhos no total dos resíduos sólidos urbanos	30%
SUIÇA	1988 (Federal Office Environment Forests and Landscape) Participação dos entulhos no total dos resíduos sólidos urbanos	45%
JAPÃO	1985 (H.K. Polytecnic) Participação dos entulhos no total dos resíduos exclusivamente industriais	18%
BRASIL	São Paulo – 1995 (Limpurb) Participação do entulho no total dos resíduos sólidos urbanos recebidos apenas em aterros municipais	25%
BRASIL	Belo Horizonte - 1993 (I&T) Participação do entulho no total dos resíduos sólidos (sem resíduos industriais) recebidos apenas em aterros municipais	38%
BRASIL	São José dos Campos - 1995 (I&T) Participação do entulho no total dos resíduos sólidos (sem resíduos industriais)	68%
BRASIL	Ribeirão Preto - 1995 (I&T) Participação de entulho no total de resíduos sólidos (sem resíduos industriais)	67%

**Fonte: Pinto (1995)**

Levantamentos feitos pelo I & T (Pinto, 1997) apresentam dados relativos a participação dos resíduos de construção no total de resíduos sólidos urbanos (em massa) de algumas cidades do Brasil (Quadro 7).

**Quadro 7: Participação dos resíduos de construção no total dos resíduos sólidos urbanos**

Cidade	Fonte	Participação percentual
São José dos Campos	(I & T-95)	68%
Ribeirão Preto	(I & T-95)	67%
Belo Horizonte	(SLU-96) Considerados apenas em aterros públicos)	51%
Brasília	(SLU-96)	66%
Campinas	(SSP-96)	64%
Jundiaí	(I & T-97)	64%
São José do Rio Preto	(I & T-97)	60%
Santo André	(I & T-97)	62%

**Fonte: I & T (In: PINTO, 1997)**

De acordo com Pinto (1995) as projeções comprovam que 100 (cem) viagens de entulho geram 30,00m<sup>3</sup> de reciclados, os quais permitem produzir blocos para construir 50 (cinquenta) casas populares de 40,00m<sup>2</sup> ou agregado para execução de 2.000,00m<sup>2</sup> de rua.

Segundo Pinto (1995), o entulho dos canteiros de obra brasileiros é composto basicamente de argamassa (60%), componentes de vedação - tijolos, blocos, cacos cerâmicos (30%), outros materiais - concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos (09%) e de orgânicos (01%). Comparado a outros resíduos sólidos, os resíduos da construção civil incomodam menos por serem inertes. No entanto, dado seu volume, não podem mais ser ignorados.

Observando-se a composição do entulho, percebe-se que a reciclagem é um bom negócio, pois além de eliminar sua deposição às margens de vias públicas, rios e terrenos baldios, permite obter materiais de construção mais baratos e de boa qualidade. Após a reciclagem, o material pode ser utilizado para reforçar a sub-base e proporcionar o tratamento primário de ruas, avenidas e estradas. Este material espalhado em camadas regulares e compactado com rolo atinge valores de CBR elevados (Pinto, 1995).

Outras aplicações para o entulho da construção civil referem-se a:

- ◆ Produção de agregado graúdo para construção em geral, apresentando resistência elevada, podendo ser utilizado em concreto, em cascalhamento, calçadas, contrapisos, agregados para rip-rap (em canalização ou contenção de encostas) ou mesmo para produção de tubos, guias sarjetas ou bocas de lobo;
- ◆ Produção de agregados finos que, após classificados, podem ser usados para fabricar tijolos, blocos e argamassa de assentamento.

Contudo, o agregado reciclado de entulho urbano tem, potencialmente, qualidade inferior ao agregado tradicional, e principalmente, pode ter características muito variáveis de um lote para outro, devido à heterogeneidade dos resíduos. Isto justifica a utilização de agregados reciclados em concretos e argamassas não estruturais (Jardim *et al.*, 1995). Sua disponibilidade e baixo custo sugerem a utilização em programas de construção popular, assentamentos ou mutirões.

A reciclagem do entulho da construção pode ser realizada no próprio canteiro de obra ou em locais apropriados com equipamento de reciclagem, após a coleta e seleção. Existem, atualmente, oito instalações de usinas de reciclagem no Brasil (duas em Belo Horizonte, uma em São Paulo, Ribeirão Preto, São José dos Campos, Londrina, Piracicaba e Imuriáé). Todas foram implantadas

entre 1991 e 1996, em um ritmo de expansão bastante acelerado, dado o interesse dos empresários e das novas administrações municipais (Pinto, 1997).

A incorporação do entulho na própria obra possibilita um resultado significativo de economia e de gerenciamento moderno, além da economia com o transporte para um aterro autorizado.

## **4.2 AS MELHORIAS TECNOLÓGICAS DO CANTEIRO DE OBRA**

Considerando-se melhoria tecnológica toda mudança realizada pela empresa, com relação a adoção ou modificação de ferramentas, máquinas e dispositivos e com relação a organização do local de trabalho; várias ações relacionadas ao meio ambiente merecem ser citadas:

- ◆ Uso de masseiras (recipientes para depósito de argamassa) confeccionadas com pneus usados;
- ◆ Armazenamento dos sacos vazios de cimento, bem como de outras embalagens para repassar aos catadores de papel;
- ◆ Utilização de projeto para corte de aço otimizando o uso das barras;
- ◆ Utilização de projeto de formas para otimização do uso de madeira;
- ◆ Uso de formas metálicas padronizadas e reutilizáveis;
- ◆ Separação dos restos de material por natureza para reuso;
- ◆ Uso do triturador de argamassa para reutilização desta;
- ◆ Uso de silos ou baias para armazenagem de materiais como areia e brita;
- ◆ Uso de estrados para armazenagem dos sacos de cimento;
- ◆ Uso de pallets e equipamentos de transporte adequados para evitar a quebra dos blocos e tijolos;
- ◆ Preocupação com a redução do desperdício (entulho) gerado no canteiro;
- ◆ Coleta seletiva do lixo gerado pelos operários no canteiro;
- ◆ Adoção das condições mínimas de higiene e segurança dispostas na Norma Regulamentadora NR 18;
- ◆ Preocupação em manter a obra e seu entorno limpos e organizados, sem cacos, picotes de madeira, arame e aço ou outros restos;
- ◆ Preocupação com a arborização e com a imagem do entorno da obra.

Tais ações são de pequena proporção na esfera da problemática ambiental, contudo contribuem para a conscientização dos envolvidos, ajudando na mudança da cultura contra o desperdício e a degradação. Além disso, o bom aspecto do canteiro perante sua vizinhança contribui para a qualidade de vida dos envolvidos.

## **5 CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES**

A preocupação relativa a conservação ambiental ocupa, hoje, uma significativa parcela dos investimentos e dos esforços administrativos de todos os segmentos das atividades econômicas.

Cresce a atenção quanto ao esgotamento das reservas das fontes de matéria-prima, especialmente se as mesmas não forem renováveis. Diversos problemas são originados pela retirada de materiais (especialmente matérias-primas de construção) da natureza, causando impacto na extração e na geração de resíduos em todas as fases de transformação.

Entre as possíveis soluções para a questão do resíduo sólido industrial, encontra-se a possibilidade de sua valorização como matéria prima e/ou como fonte energética.

A engenharia, em seu vasto campo de atuação, oferece uma série de oportunidades para a redução dos impactos ambientais causados pelas atividades produtivas. Para melhor visualização, as sugestões apresentadas por Santos (1995) estão agrupadas em cinco áreas a seguir. Tais sugestões podem ser adotadas no processo produtivo da construção civil - subsetor edificações.

*[i]* No planejamento estratégico :

- ◆ Inclusão da variável ambiental no planejamento estratégico da empresa;
- ◆ Utilização de métodos de avaliação de impacto ambiental mais adequados à realidade político-econômica do país;
- ◆ Avaliação de novas tecnologias com o objetivo de determinar a extensão do benefício e/ou danos causados ao meio ambiente;
- ◆ Na análise de investimentos, inserção de critérios de tomada de decisão buscando estabelecer relações custo/benefício onde a qualidade ambiental seja levada em consideração;

*[ii]* Na gestão da produção :

- ◆ Criação e/ou alteração da gerência de processos produtivos buscando a produção limpa, objetivando otimizar a utilização de matéria-prima e energia, evitar desperdícios e geração de refugos e/ou resíduos;
- ◆ Planejamento, organização e gerenciamento da produção com uma ótica de controle e preservação ambiental;
- ◆ Planejamento e gerenciamento dos sistemas de qualidade ambiental visando atender as padronizações exigidas pelas regulamentações nacionais e internacionais;
- ◆ Reavaliação dos sistemas que maximizam a produtividade, talvez eles não estejam internalizando os danos causados ao meio ambiente devido a elevação das atividades de produção.

*[iii]* Nos sistemas de auxílio à gestão :

- ◆ Criação de sistemas de informação gerencial e/ou de apoio à decisão, buscando o tratamento de dados de caráter ambiental para embasar decisões relativas às opções de processos produtivos ou desenvolvimento de produtos menos agressivos ao meio ambiente;
- ◆ Adequação do sistema de custeio do produto para que consiga absorver o custo ambiental das atividades da empresa;
- ◆ Utilização de sistemas especialistas como instrumentos auxiliares no controle da qualidade ambiental.

*[iv]* No projeto do produto e logística :

- ◆ Aprofundamento dos estudos de engenharia simultânea para aperfeiçoar a análise do ciclo de vida do produto desde a sua concepção até o seu descarte final;
- ◆ Aplicação da análise de valor como ferramenta para estimar e avaliar as expectativas do consumidor quanto a um produto e/ou serviço ambientalmente saudável;
- ◆ Incorporação dos aspectos de controle ambiental na metodologia de planejamento e desenvolvimentos de produtos.

*[v]* Na logística ambiental: inserção da preocupação de recolher junto aos consumidores embalagens de produtos que possam ser reciclados e retornem para a indústria em forma de matéria-prima para novos produtos.

A valorização de resíduos sólidos e subprodutos como matéria-prima na indústria da construção civil não pode resolver sozinha a problemática da eliminação de rejeitos industriais pela sociedade. Contudo, permite a redução de significativa parcela de matéria-prima não-renovável e de insumos energéticos.

Quanto ao gerenciamento, ratifica-se que as melhorias tecnológicas adotadas são de pequena proporção no todo, contudo contribuem para a conscientização dos envolvidos e ajudam na mudança da cultura contra o desperdício e a degradação. A melhoria da imagem da obra e do entorno do canteiro mudam o conceito da vizinhança e de toda população sobre o setor da construção civil e contribuem com a qualidade de vida dos envolvidos. A redução da geração de entulho permite a diminuição do custo da construção, além da redução dos custos ambientais já citados.

Em síntese, a preocupação com o meio ambiente traz vários benefícios à construção civil, seja pela substituição da matéria-prima convencional por resíduos e subprodutos, seja pela redução do desperdício ou pela conscientização dos envolvidos e preservação ambiental.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, H. N. *Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: Um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1995. 117p.
- BEHR-ANDRES, C. B., PARISH, G. K. & HUTZLER, N. J. *Strategy for beneficial use of stoker-boiler coal ash*. Journal of environmental engineering, v. 120, n. 2, 1994. p. 401-415.
- CINCOTTO, M. A. *Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil*. Tecnologia das edificações. São Paulo: PINI, 1988. p. 71-74.
- CINCOTTO, M. A. & KAUPATEZ, R. M. Z. *Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica*. Tecnologia das edificações. São Paulo: PINI, 1988. p. 23-26.
- COSTA, C. E. *Incorporação de rejeitos na indústria cerâmica*. Qualidade na construção, n. 12, ano II. São Paulo: SindusCon, 1998. p. 44-46.
- DE CESARE, C. M. & FORMOSO, C. T. *Movimentação e desperdício de materiais nas alvenarias convencionais*. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Anais. Florianópolis: ANTAC, 1994, p. 481-490.
- ESTRELLA, S. P. *Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina - Perspectivas de uso na construção civil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1996. 123p.
- FORMOSO, C. T. & JOBIM, M. S. S. *Análise dos dados disponíveis e diretrizes para prevenção*. Revista Qualidade na construção. São Paulo: SINDUSCON/SP, 1998. p. 33-39.
- HADDAD, E. (Coord.), ANUATI, F., LOPES, M. et al. *Políticas públicas para incentivo à utilização de resíduos em habitação*. [Relatório IPT/DES-AETEC/DIGEO/DEC n. 34.904/96 – Interessado: FINEP]. São Paulo: IPT, 1997. 158p.
- INDRARATA, B., NUTALAYA, P., KOO, K. S. & KUGANENTHIRA, N. *Engineering behavior of a low carbon, pozzolanic fly ash and its potential as a construction fill*. Canadian geotechnical journal, v. 28. Canadá: Can. Geotech. J., 1991. p. 542-555.

- ISAIA, G. C. *Entraves e perspectivas para uso de elevados teores de cinza volante e cinza de casca de arroz em concreto estrutural*. Workshop Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. Anais. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 46-52.
- \_\_\_\_\_. *Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: Um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1995. 280p.
- JABLONSKI, G. J. & TYSON, S. S. *Overview of coal combustion by-product utilization*. Fifth annual international Pittsburgh coal conference. Proceedings. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1988. p. 15-22.
- JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos agro-industriais para uso na construção civil no Brasil: O caso da escória de alto forno*. Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental. Anais. São Paulo: NUDEPE/POLI-UPE, 1997. p. 67-76.
- MAIA, M. A. C., UNIZ, E. S. & FREITAS, M. C. D. *Sistemas construtivos com o uso de resíduos. Uma alternativa para reduzir o custo da habitação popular*. ENTAC 95 - Qualidade e tecnologia na habitação, v. II. Anais. Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. p. 503-509.
- MANZ, O. E. *Utilization of by-products from western coal combustion in the manufacture of mineral wool and other ceramic materials*. Cement and concrete research, v. 14. USA: Pergamon Press, 1984. p. 513-520.
- MARCIANO JR, E., MARINGOLO, V. & SUTO, A. J. *Gerenciamento ambiental: Alternativa de estabilização de resíduos industriais e urbanos com cimento e concreto*. 38º REIBRAC, v. II. Anais. Ribeirão Preto: IBRACON, 1996. p. 535-549.
- PARSA, J. MUNSON-McGREE, S. H. & STEINER, R. *Stabilization/solidification of hazardous wastes using fly ash*. Journal of environmental engineering, v. 122, n. 10. USA: ASCE, 1996. p. 935-940.
- PICCHI, F. A. *Sistemas da qualidade: Uso em empresas de construção de edifícios*. Tese (Doutorado em Engenharia), Vol 1 e 2. Universidade de São Paulo, 1993. São Paulo: USP, 1993, 462p.
- PINTO, T. P. *Reciclagem-Minas de Entulho*. Técnica - Revista de Tecnologia da Construção, n 15, 1995 p. 15-19.
- \_\_\_\_\_. *Resultados da gestão diferenciada*. Técnica - Revista de Tecnologia da Construção, n. 31, 1997 p. 31-34.
- POZZOBON, C. E. *Estudo sobre aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1999. 136p.
- PRIM, E. C. C. et al. *Valorização do lodo têxtil como novo material de construção civil*. VII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído – Qualidade no ambiente construtivo. Anais. Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 871-878.
- ROY, W. R., THIERY, R. G., SCHULLER, R. M. & SULOWAY, J. J. *Coal fly ash: A review of the literature and proposed classification system with emphasis on environmental impacts*. Environmental geology notes 96. Illinois: Illinois State geological Survey, 1981. 69p.
- SANTOS, A. et al. *Método de intervenção para redução de perdas na construção civil*. Porto Alegre: Edição SEBRAE/RS, 1996.
- SANTOS, N. E. S. *Meio Ambiente e a Engenharia de Produção: O que fazer na era do ambientalmente correto?* ENEGEP 95. São Paulo: Anais. V. 2, 1995. p.775-777.
- SILVA, N. I. W., CHIES, F. & ZWONOK, O. *Usos de cinzas de carvão na construção civil*. I Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. Anais. Canela: ANTAC, 1997. p. 15-20.
- SOUZA, R. et al. *Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras*. São Paulo: PINI, 1995. 247p.
- TAVARES, J. M., BAASCH, S. S. N. & POSSAMAI, O. *A engenharia e o gerenciamento ambiental*. Revista Tecnologia Fortaleza, n. 17. Fortaleza: 1996. p. 28-34.
- VÁZQUEZ, E. *Utilización de residuos en la C. E. E: Aspectos políticos y ambientales. Estado del arte y normalización*. Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental. Anais. São Paulo: NUDEPE/POLI-UPE, 1997. p. 64-66.
- WENG, C. H. & HUANG, C. P. *Treatment of metal industrial wastewater by fly ash and cement fixation*. Journal of environmental engineering, v. 120, n. 6. USA: ASCE, 1994. p. 1470-1487.
- ZWONOK, O. (Coord.), CHIES, F. & SILVA, N. I. W. *Identificação dos usos possíveis para as cinzas carboníferas de termelétricas brasileiras*. [Relatório para a ELETROBRÁS – Contrato ECE-816/96]. Porto Alegre: CIENTEC, 1996. 88p.