

# **DIAGNÓSTICO DOS SETORES PRODUTORES DE RESÍDUOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR**

**BRUM, Irineu S.<sup>(1)</sup>; CASSA, José C.<sup>(2)</sup>;  
CARNEIRO, Alex P.<sup>(3)</sup>; COSTA, Dayana B.<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> MSc, Eng. de Minas, Professor do DCTM-UFBA

<sup>(2)</sup> PhD, DIC, Eng. Químico, Professor do DCTM-UFBA

<sup>(3)</sup> Eng. Civil, Mestrando em Eng. Ambiental Urbana, Pesquisador GEMAC - UFBA

<sup>(4)</sup> Estudante de Eng. Civil-UFBA, Bolsista de Iniciação Científica CNPq/PIBIC-UFBA

**Grupo de Estudos em Materiais de Construção**

**DCTM - Escola Politécnica - UFBA**

R. Aristides Novis, 02, Federação

40210-630, Salvador-BA

Tel. / Fax: (0xx71) 237-8524

E-mail: gemac@ufba.br

## **RESUMO**

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sólidos como materiais para a construção civil é de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais, que são causados pela geração de subprodutos de atividades urbanas e industriais, tais como, mineração, metalurgia, química, limpeza urbana e construção civil.

Este trabalho apresenta o diagnóstico dos resíduos sólidos produzidos na Região Metropolitana de Salvador (RMS), avaliando o potencial destes subprodutos como materiais de construção. Neste sentido, foi realizado o mapeamento das principais ocorrências de resíduos nos setores de metalurgia, mineração, química, construção civil e limpeza urbana da RMS, incluindo quantificação, caracterização e localização, através de visitas às indústrias, bem como de informações disponíveis em Órgãos Ambientais, Secretarias de Governo, Federação das Indústrias, entre outras instituições.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos, diagnóstico, reciclagem, materiais de construção

## **ABSTRACT**

The recycling and reuse of industrial solid waste as construction materials may be considered of fundamental importance for the minimization of some environment problems caused for solid waste in general.

This work present an assessment of some solid waste generated from several activities, as mining, steel production, chemistry, construction and municipal waste management at urban area of Salvador - Brazil. The aim of this investigation were to identify the potential use of the some of solid waste identified as construction materials.

**KEY WORDS:** waste, assessment, recycling, construction material

## 1. INTRODUÇÃO

A destinação inadequada dos resíduos sólidos produzidos por setores como mineração, metalurgia, química, limpeza urbana e construção civil gera problemas sociais e ambientais. A reciclagem destes constitui uma alternativa para o controle / minimização destes problemas, possibilitando ainda, vantagens financeiras através da comercialização destes resíduos.

Os resíduos sempre existirão, uma vez que, as possibilidades de redução dos subprodutos gerados nos diferentes processos produtivos apresentam limites tecnológicos. A política de proteção ambiental, hoje vigente, é voltada quase que exclusivamente para a disposição controlada dos resíduos, sendo que esta prática apresenta limites diversos. O primeiro é que os aterros controlados consomem, por tempo indefinido, um recurso limitado (o solo), além de concentrarem enormes quantidades de resíduos potencialmente perigosos, estando estes sujeitos a acidentes. Para controlar este risco, a normalização dos aterros tem recebido aperfeiçoamentos constantes. Com isto, o preço destes serviços tem-se elevado a valores muitas vezes insuportáveis para as empresas ou para o poder público (JOHN, 1996).

A reciclagem, por outro lado, é uma oportunidade de transformação de uma fonte importante de despesa em uma fonte de faturamento ou, pelo menos, de redução das despesas de deposição. Contrariamente à disposição controlada dos resíduos, a reciclagem é atrativa às empresas. Na outra ponta do processo, a cadeia produtiva que recicla reduz a extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados.

A construção civil é atualmente o grande reciclador de resíduos provenientes de outras indústrias. Resíduos como a escória granulada de alto forno, cinzas volantes, sílica ativa, entre outros são incorporados rotineiramente nas construções, mas este setor tem um potencial consumidor ainda maior.

A maioria dos materiais utilizados pela construção civil, diferentemente de outras indústrias, são de composição e produção simples, especialmente os componentes que fazem uso do cimento Portland, tolerando variabilidade de composição. Além disto, atividades de produção relacionadas ao macro-complexo da construção civil estão presentes em todas as regiões de qualquer país.

A incorporação de resíduos na produção de materiais permite ainda:

- reduzir o consumo de energia, tanto porque estes subprodutos freqüentemente incorporam grandes quantidades de energia como também podem reduzir as distâncias de transporte de matérias-primas;
- reduzir a poluição, por exemplo, a incorporação de escórias e pozolanas reduz substancialmente a produção de CO<sub>2</sub> no processo de produção do cimento;
- melhorar as características tecnológicas na produção de materiais, por exemplo, a adição de sílica ativa (que viabiliza concretos de alto desempenho) e da escória de alto forno (que melhora o desempenho do concreto frente ao ataque por cloretos).

Porém, o aproveitamento de resíduos na construção civil requer uma avaliação não só dos aspectos econômicos e tecnológicos, assim como, dos aspectos legais e do risco de contaminação ambiental que o uso dos materiais com resíduos incorporados poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após sua destinação final.

Visando identificar as principais ocorrências de resíduos sólidos na Região Metropolitana de Salvador (RMS) foi realizado o diagnóstico dos principais subprodutos gerados pelos setores de mineração, metalurgia, química, limpeza urbana e construção civil da região. Este diagnóstico permitiu avaliar o potencial de aproveitamento destes resíduos para produção de materiais de construção.

## **2. DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS DA RMS**

O diagnóstico dos resíduos produzidos na RMS identificou e localizou as principais ocorrências, incluindo a quantificação, avaliação do conhecimento disponível e do seu potencial de aproveitamento como matéria-prima secundária para produção de materiais de construção.

O levantamento de dados foi realizado através de visitas as indústrias, informações obtidas em órgãos ambientais, Secretarias / Superintendências de Governo, Federação das Indústrias, associações de classe, órgãos da Prefeitura, entre outros.

A avaliação do estado da arte indicou o nível de conhecimento atual dos resíduos identificados (pouco ou nenhum conhecimento, pesquisa básica em andamento ou concluída, pesquisa aplicada em andamento ou concluída, produção comercial, dificuldade de comercialização, prioridades e / ou recomendações / oportunidades). A tabela 1 apresenta um painel do nível de conhecimento dos principais resíduos da RMS.

A partir da avaliação do estado da arte foi possível selecionar os resíduos de maior potencial para a produção de materiais contribuindo para a definição de linhas de P&D.

A seguir são apresentados os resultados dos diagnósticos dos resíduos produzidos pelos setores de mineração, metalurgia, química, limpeza urbana e construção civil da RMS. Informações detalhadas sobre os resíduos, incluindo, a identificação do gerador, quantificação, localização, características, entre outras, poderão ser obtidas no Banco de Dados em construção pelo GEMAC (<http://www.dctm.eng.ufba.br/reciclar>).

### **2.1 Setores de Mineração e Metalurgia**

A mineração e metalurgia são historicamente atividades que produzem impactos ambientais significativos. Contudo, com o desenvolvimento tecnológico e maior rigor dos órgãos ambientais, estas indústrias introduziram modificações na planta de produção, filtros e outros sistemas que reduziram a poluição gerada pelos efluentes.

Entretanto, a geração de volumes consideráveis de resíduos sólidos é inerente ao processo de produção. Os resíduos são geralmente estocados em áreas próximas às indústrias causando impactos ambientais como a contaminação do solo e da água.

Os principais resíduos gerados pelo setor de mineração da RMS identificados neste trabalho são: pó de pedra, arenoso, areia contaminada com argila e argilas inadequadas para cerâmica vermelha.

Os principais resíduos gerados pelo setor de metalurgia da RMS identificados neste trabalho são: escórias de cobre, escórias de ferro-cromo, escórias de ferro-liga, escórias de aciaria, lama de gesso e refratários de fornos.

O pó de pedra e o arenoso são subprodutos do setor de mineração que vem sendo utilizados na região de Salvador em pavimentação e argamassas, respectivamente. Contudo, não foram identificadas pesquisas aplicadas sobre estes resíduos. Alguns resíduos metalúrgicos, como a lama de gesso, escórias de aciarias e ferro-ligas, apresentam pouco ou nenhum conhecimento estabelecido. Outro subproduto como a escória de Ferro-Cromo gerada pela FERBASA apresenta-se com grande potencial para uso como material de construção. Esta escória já vem sendo comercializada na RMS.

Assim sendo, o GEMAC desenvolveu estudos visando a utilização deste resíduo como agregado graúdo para produção de concreto de alto desempenho. As principais conclusões deste trabalho são apresentadas no artigo de CASSA, CARNEIRO & VALOIS, 1996.

## 2.2 Setor Químico

A indústria química constitui atualmente em um expressivo setor da economia nacional com importante participação no PIB. Entretanto, os diversos processos de produção desta indústria são geradores de resíduos sólidos que podem ser classificados desde inertes até altamente perigosos.

Neste diagnóstico foram analisados os resíduos dos dois distritos indústrias da região de Salvador (Complexo Petroquímico de Camaçari - COPEC e Centro Industrial de Aratu - CIA), além das indústrias de cerâmica vermelha dispersas na RMS.

Os principais resíduos gerados pelas **indústrias do COPEC** identificados neste trabalho são: inertes (sucatas de papel/plástico, fibra acrílica, etc.), energéticos (óleos e carvões diversos, etc.), não inertes/perigosos (lama de ilmenita, borra de enxofre/borracha, catalisadores, TAR, etc.).

Os principais resíduos gerados pelas **indústrias do CIA** identificados neste trabalho são: inertes (filler asfáltico, pó de areia, aparas de borrachas, big-bags, etc.), energéticos/outros (toner, tolueno, metil-etil cetona).

De um modo geral, os resíduos das indústrias químicas do COPEC e CIA são gerados em pequenas quantidades e/ou são compostos por materiais complexos. Assim sendo, apresentam baixo potencial de aproveitamento direto na construção civil. O filler asfáltico e o pó de areia são exceções uma vez que podem ser utilizados sem tratamento prévio na execução de pavimentos.

Alguns resíduos energéticos poderão ser usados como combustível na queima de cerâmica vermelha. Outros resíduos poderão ser adicionados em pequenas quantidades na massa cerâmica. Após a queima, estes resíduos estarão vitrificados e, portanto, inertizados.

De fato, algumas destas experiências já estão sendo realizadas na Cerâmica Poty (CERNE) em trabalho conjunto com o CEPED. A XEROX tem contrato com indústrias cerâmicas para o uso do resíduo de TONER adicionado na massa e que funciona como energético complementar, melhorando a queima do material cerâmico.

Tal procedimento permitiu melhorar significativamente a qualidade do material cerâmico obtido, quanto às suas propriedades físicas e mecânicas, sem colocar em risco a qualidade do meio ambiente e a saúde dos possíveis usuários do produto.

O emprego de resíduo na massa cerâmica possibilita ainda redução do tempo de queima nos fornos, maior velocidade na máquina extrusora e significativa melhoria da qualidade dos produtos. Este último aspecto é constatado pela maior resistência mecânica dos novos produtos, menor quantidade de peças defeituosas e maior uniformidade na cor. O índice de quebras também pode ser bastante reduzido.

**A indústria de cerâmica vermelha da RMS**, apesar de ser um setor que contribui para o aproveitamento de subprodutos da indústria química, produz grande quantidade de resíduos. O índice médio de perdas do setor é de 14 %, ou seja, cerca de 80 000 t / ano de resíduos (material quebrado ou defeituoso). Estes resíduos, apesar do alto potencial de reciclagem, são depositados nos terrenos adjacentes às empresas.

Algumas alternativas de reaproveitamento destes resíduos são:

- A reincorporação dos resíduos à massa cerâmica melhorando as suas propriedades. Após trituração, o resíduo de cerâmica vermelha produz um pó com propriedades pozolânicas excelentes, melhorando as reações ocorridas na massa cerâmica durante a queima diminuindo a retração. Consequentemente, será obtido um produto com qualidades mecânicas melhoradas.

- A transformação do resíduo em agregado para a fabricação de concreto leve. Estudos mostram que o desempenho do concreto fabricado com agregado leve proveniente do reaproveitamento de resíduos da indústria de cerâmica vermelha pode ser considerado semelhante ao do concreto convencional (FONSECA, 1998).

## 2.3 Setores de Limpeza Urbana e Construção Civil

A geração de **lixo urbano** é um processo contínuo, apresentando-se em quantidades e composições relacionadas com o tamanho da população, o desenvolvimento econômico local, os hábitos de consumo da população, dentre outros fatores.

O grande crescimento da população na região de Salvador e a falta de uma política clara para a coleta e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, contribuíram fortemente para a proliferação dos lixões na RMS. A disposição de 85% dos resíduos urbanos em lixões estava causando sérios impactos ambientais, tais como a destruição de mangues, contaminação do lençol freático e mananciais, inclusive da represa do Rio Joanes que abastece a RMS. A Companhia de Desenvolvimento da RMS (CONDER) e a Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (LIMPURB) estão em fase final de implantação do Programa de Destinação dos Resíduos Sólidos da RMS. Neste, os resíduos de limpeza urbana da RMS serão levados a quatro grandes aterros sanitários integrados, visando eliminar a disposição inadequada em lixões e, assim, minimizar os impactos ambientais.

No município de Salvador são coletados cerca de 3.550 t/dia de lixo urbano, composto, principalmente, por resíduos domiciliares, entulho, resíduos de saúde e podas / varrição.

Os resíduos domiciliares correspondem a maior parte do lixo urbano de Salvador, sendo composto por 69,6% de matéria orgânica, 16,5% de papel / papelão e 9,7% de plástico mole. Estes componentes são inadequados para a construção. Entretanto existem outros processos de reciclagem já estabelecidos para estes resíduos, como, por exemplo, a compostagem.

Em Salvador, cerca de 41% do lixo urbano é composto por entulho (em torno de 1.450 t/dia). A disposição inadequada do entulho, em terrenos baldios, encostas e cursos d'água, vinha causando graves problemas ambientais como: obstrução de córregos, assoreamento de rios, entupimento do sistema de drenagem, deslizamento de encostas, poluição visual, incentivo ao descarte irregular de lixo doméstico, proliferação dos vetores de doenças, entre outros.

Dessa maneira, um dos principais problemas nos setores de limpeza urbana em Salvador é a questão do entulho. A maior parte deste resíduo é gerado pelo setor informal da construção (auto - construção, "construtor fômi-guinha", pequenas reformas, ampliações, etc.). Estima-se que apenas 1/3 do entulho seja gerado pelo setor formal, ou seja, a indústria da construção civil (LIMA & TAMAI, 1998).

O **setor da construção civil** é uma das atividades que mais contribui com ações que alteram o meio ambiente. As alterações produzidas pela construção ocorrem na fase de implantação, execução, confecção de artefatos, pavimentação de vias, limpeza da obra, etc. Além disso, em toda a vida útil da construção são gerados resíduos: seja na fase de manutenção como na fase de reforma e adequação de uso da obra, ou até na fase de desocupação e demolição.

A grande quantidade de resíduos da indústria da construção civil são provenientes de duas fontes básicas: as perdas de materiais de construção no canteiro de obras e as demolições / reformas. As perdas na construção civil referem-se aos materiais desperdiçados durante o processo de execução de um serviço. As demolições / reformas

referem-se à eliminação de quaisquer estrutura ou componente desta durante sua utilização ou após o fim do tempo de serviço.

Assim, o gerenciamento adequado destes resíduos devem priorizar a sua redução, reutilização e reciclagem, diminuindo a extração de matérias-primas (mineração) e otimizando as áreas ocupadas para a disposição final dos resíduos urbanos.

Neste sentido, o “Plano de Gestão Diferenciada de Entulho na Cidade do Salvador” elaborado pela LIMPURB apresenta-se como boa alternativa para a questão do entulho de limpeza urbana. Este plano, além de intensificar as medidas preventivas / corretivas para evitar o descarte clandestino, prevê a criação de 5 Bases de Descarga de Entulho (BDE) e 22 Postos de Descarga do Entulho (PDE).

Finalmente, este plano estabelece a utilização do entulho para a regularização de terrenos e a criação de plantas de reciclagem do entulho, transformando este resíduo em agregado para construção. A primeira central de reciclagem de entulho de Salvador deverá ser implantada no primeiro semestre de 2000.

Apesar da reciclagem do entulho já ser um procedimento adotado em algumas regiões, este resíduo possui características que variam significativamente de uma região para outra. Neste sentido, a caracterização do entulho de Salvador constitui-se em uma etapa indispensável para estudos de alternativas de reciclagem que maximizem as suas propriedades.

Dessa maneira, estão sendo realizados pelo GEMAC – UFBA, estudos de caracterização do entulho da RMS visando avaliar o potencial de reciclagem e viabilidade técnico-econômica para produção de materiais de construção.

Foram também realizados estudos visando identificar aplicações que maximizem a utilização deste resíduo reciclado na produção de novos materiais de construção. Foram identificadas, então, três linhas de pesquisa de interesse:

- fabricação de tijolos de solo e entulho estabilizados com cimento;
- produção de argamassas com entulho reciclado;
- utilização do entulho reciclado para camadas de base e sub-base de pavimentos.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

- O Diagnóstico dos setores produtores de resíduos da Região Metropolitana de Salvador RMS (mineração, metalurgia, química, limpeza urbana e construção civil) permitiu a identificação e caracterização das principais ocorrências de resíduos sólidos com possibilidade de utilização como materiais de construção na região.
- O Levantamento do Estado da Arte do conhecimento sobre estes resíduos permitiu a criação de um mapa visual do potencial de aplicação destes como materiais de construção. Além disto, este levantamento indicou as necessidades de pesquisa / desenvolvimento e as prioridades / oportunidades comerciais de reciclagem como materiais de construção para os principais resíduos estudados.
- O entulho apresenta-se como relevante problema de limpeza urbana e resíduo com alto potencial de reciclagem como matéria-prima para a construção civil. Atualmente, está em andamento a caracterização completa do entulho de Salvador e o desenvolvimento de linhas de pesquisa sobre a utilização do entulho britado na produção de base e sub-base de pavimentos, argamassa e tijolos de solo estabilizado.

- O uso racional e seguro de resíduos requer uma abordagem de ciência e engenharia de materiais no desenvolvimento de novos materiais de construção onde fatores técnicos, econômicos e de risco ambiental deverão ser considerados .
- A preocupação com o meio ambiente deverá influenciar de maneira significativa a construção civil no futuro próximo. Assim, a reciclagem de resíduos como materiais de construção será uma alternativa importante para reduzir o impacto ambiental das diversas atividades do setor produtivo.
- Atualmente, esta sendo implantada pela UFBA a Rede Cooperativa de Pesquisa para o Aproveitamento de Resíduos como Materiais de Construção – RECICLAR BAHIA, em convênio com a FINEP/CADCT, com o objetivo de aprofundar os estudos sobre este tema, assim como a geração de produtos de interesse social.

#### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CASSA, José C.; CARNEIRO, Alex P.; VALOIS, João G. “Aproveitamento de Escória de Fe-Cr para Produção de Concreto de Alto Desempenho”, In: Workshop sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil - ANTAC, São Paulo, 1996, p.149-155.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANO DE SALVADOR - CONDER, "Plano Diretor de Limpeza Urbana Salvador", Salvador, 1994.

EMPRESA DE LIMPEZA URBANA DO SALVADOR (LIMPURB) "Gestão diferenciada na Cidade do Salvador - Relatório Final", Salvador, 1997.

FONSECA, João B. , COSTA, Juzélia S. , CONCIANI, Wilson, “Aproveitamento de Rejeitos de Cerâmica Estrutural para Produção de Concreto de Baixa Resistência”, In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, pp. 94 –98, Porto Alegre, 1998.

JOHN, Vanderley. M., "Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos", Anais do Workshop sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil - ANTAC, São Paulo, 1996, p. 21-30.

LIMA, Gilson L.; TAMAI, Marcos T. "Programa de Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos Inertes em Santo André: Estação Entulho", In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental, Porto Alegre, 1998, pp. 413-418.

#### **AGRADECIMENTOS**

- À Caixa Econômica Federal pelo apoio financeiro.
- Ao CNPq pela concessão de bolsas de iniciação científica.
- Aos alunos de IC Rafael Mota, Fábio Carneiro, Geison Pereira, Aledson Costa, Taís Sampaio e Elaine Alberte pelo apoio indispensável para realização deste trabalho.
- Ao Dr. Francisco O. Neto pela colaboração no diagnóstico de metalurgia.
- À LIMPURB, CONDER, SUDIC, SIC, SGM, FIEB-BA, SINDUSCON-BA, CRA, Sindicato das Indústrias Cerâmicas da Bahia, às diversas empresas visitadas durante a realização deste trabalho, pelas valiosas informações fornecidas.

*Este trabalho é dedicado à memória do saudoso  
Prof. José C. Cassa – Fundador e Coordenador do GEMAC*

Tabela 1 – Avaliação do nível de conhecimento de alguns resíduos sólidos da Região Metropolitana de Salvador

Resíduo	Pouco ou nenhum conhecimento	Pesquisa Básica (concluída ou em andamento)	Pesquisa Aplicada (concluída ou em andamento)	Produção comercial (ou dificuldade de comercialização)	Prioridade e/ou Recomendações / Oportunidades
Escórias de Ferro-Cromo		X	X	X	Escórias adequadas para construção civil
Escórias de Ferro-ligas, Aciaria	X				Materiais complexos
Escórias de Cobre		X	X		Materiais complexos
Pó de pedra e Arenoso		X		X	Uso tradicional em pavimentação e argamassas
Lama de gesso	X				Material complexo contaminado com Arsênio
Areia contaminada com argila	X				Sem aceitação no mercado local
Argilas inadequadas para cerâmica vermelha	X				Sem aceitação no mercado local
Sólidos inertes do COPEC e CIA	X				Pouca quantidade / materiais complexos difíceis de serem aproveitados diretamente na construção
Sólidos não-inertes do COPEC e CIA	X				Pouca quantidades / materiais complexos / possível uso na massa cerâmica vermelha
Fíler asfáltico e pó de areia	X				Materiais complexos/possível aplicação em pavimentos
Materiais energéticos do COPEC e CIA	X				Poucas quantidades / materiais complexos / possível na queima de cerâmica vermelha
Perdas da cerâmica vermelha (material quebrado ou defeituoso)		X	X	X	Possibilidades de reciclagem na própria cerâmica melhorando a qualidade do material produzido
Lixo Doméstico		X	X		Não é adequado para materiais de construção
<b>Entulho</b>		X	X	X	<b>Excelentes oportunidades de aproveitamento</b>