

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830

BT/PCC/379

**Metodologia de Avaliação do
Potencial de Reciclagem de Resíduos**

**Sérgio Eduardo Zordan
Wanderley Moacyr John**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Construção Civil

Boletim Técnico – Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. Vahan Agopyan

Vice-Diretor: Prof. Dr. Ivan Gilberto Sandoval Falleiros

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

Prof. Dr. Silvio Melhado

Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.

Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves

Prof. Dr. Paulo Helene

Prof. Dr. Cheng Liang Yee

Coordenador Técnico

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

O presente trabalho é parte da tese de doutorado apresentada por Sérgio Eduardo Zordan, sob orientação do Prof. Dr. Wanderley Moacyr John: "Metodologia de Avaliação do Potencial de Reciclagem de Resíduos", defendida em 30/09/2003.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia Civil da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Zordan, Sérgio Eduardo

Metodologia de avaliação do potencial de reciclagem de resíduos / Sérgio Eduardo Zordan, Wanderley Moacyr John. -- São Paulo : EPUSP, 2004.

11 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil ; BT/PCC/379)

1. Resíduos de construção 2. Resíduos de entulho 3. Resíduos de demolição 4. Desenvolvimento sustentável I. John, Wanderley Moacyr II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil III. Título IV. Série

ISSN 0103-9830

CDU 628.4.036

628.4.036

628.4.036

57.02

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS

METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF RECYCLING WASTES POTENTIAL

RESUMO

Esta pesquisa propõe uma metodologia para avaliar o potencial de reciclagem de resíduos e indicar as aplicações mais sustentáveis, considerando aspectos econômicos, de mercado, ambientais e de risco à saúde humana. A idéia central é avaliar o uso do resíduo baseado em suas características e propriedades físico-químicas e, a partir disso, identificar áreas potenciais que possam absorvê-lo da forma mais sustentável possível. A avaliação da aplicabilidade será feita com base em requisitos identificados por especialistas de diversas áreas. A metodologia foi testada para avaliar o potencial de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto e dos resíduos de construção e demolição (RCD).

Palavras chave: reciclagem, resíduos, metodologia, desenvolvimento sustentável, resíduo de construção e demolição, lodo de esgoto.

ABSTRACT

This research suggests a methodology to evaluate the recycling potential of waste products and to indicate the most sustainable applications regarding economical, market, environmental and hazard to human health aspects. The main idea is to evaluate the use of the waste based on its physical-chemical characteristics and properties, and then, to identify potential areas to absorb them, through sustainable processes. The evaluation of the applicability will be based on requirements identified by specialists of several areas. The methodology will be applied to evaluate the recycling potential of sewage sludge wastes and construction and demolition wastes (CDW).

Keys words: recycling, wastes, methodology, sustainable development, construction and demolition wastes, sewage sludge

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem tem sido, ao lado do reuso, uma solução cada vez mais utilizada pelas indústrias para gerenciar seus resíduos. Em relação às formas tradicionais de gerenciamento – os aterros – a reciclagem apresenta uma série de vantagens, dentre as quais destacam-se: alternativa à falta de espaço para aterros, redução de problemas urbanos, preservação dos recursos naturais, proteção do meio ambiente, vantagens econômicas, entre outras.

No entanto, para se adotar um sistema de reciclagem, há algumas necessidades básicas. Uma das mais críticas é a existência de um mercado que possa absorver o novo produto a ser gerado. Afinal, a reciclagem só se torna efetiva quando ela insere o resíduo novamente no mercado, ou seja, quando ele se tornar um produto e for comercializado (SKINNER, 1994).

A partir da década de 90 cresceu significativamente o número de pesquisas voltadas para estudos de aproveitamento de resíduos industriais e urbanos, sobretudo com visando sua aplicação na construção civil, como demonstram trabalhos publicados em eventos sobre a reciclagem de resíduos e sobre materiais de construção, tanto nacionais como internacionais.

Muitas dessas pesquisas apresentaram resultados positivos em relação ao desempenho desses materiais alternativos. No entanto, muitas vezes também criou-se uma imagem falsa – positiva ou negativa – a respeito do novo produto testado e desenvolvido através da reciclagem.

Isto tem ocorrido devido à estratégia tradicional utilizada em pesquisas acadêmicas de materiais: tentar utilizar um determinado resíduo em uma aplicação previamente selecionada, o que geralmente acaba criando a necessidade de se aplicar energia (processos físico-químicos) para adaptar o resíduo à aplicação. É preciso, portanto, quebrar o paradigma utilizado nas pesquisas tradicionais de materiais reciclados de inicialmente escolher uma aplicação para o resíduo para depois moldá-lo a esse uso. É preciso utilizar científicos (físico-químicos) para avaliar o potencial de reciclagem de resíduos.

Quando são considerados conceitos científicos da ciência dos materiais e não apenas tecnológicos na avaliação do potencial de reciclagem de um resíduo, o espectro de possibilidades pode se expandir consideravelmente.

Um exemplo de como uma análise técnica pouco criteriosa pode levar a situações indesejáveis, pode ser dada pelos vários acidentes em obras civis que ocorreram devido à expansão da escória de aciaria reciclada como agregado na produção de pavimentos de concretos, conforme MASUERO (1997).

Mesmo quando as pesquisas utilizam uma abordagem apropriada, baseada em critérios científicos, elas nem sempre têm conseguido estabelecer no mercado novos sistemas de reciclagem. Isto ocorre porque geralmente outros fatores importantes – além do aspecto técnico – nem sempre são considerados.

Isto pode acontecer quando aspectos importantes que influem decisivamente no sucesso da inserção do novo produto no mercado não são considerados. Como exemplos destes aspectos podem ser citados: fatores econômicos, de mercado, ambientais, e de saúde pública.

Dessa forma, mesmo quando se consegue um produto cujo comportamento técnico alcance os padrões exigíveis para a aplicação proposta, o novo produto não consegue sobreviver no mercado porque não é avaliado de forma integrada com outros aspectos importantes: ambiental, de saúde ocupacional, econômico e de mercado.

Portanto, o lançamento de produtos reciclados sem uma avaliação eficiente destes aspectos pode acabar desacreditando os produtos reciclados de forma que estes tenham cada vez menor aceitabilidade no mercado.

Segundo JOHN e ZORDAN (2000), estabelecer uma forma de pesquisa deste tipo é uma tarefa complexa que envolve conhecimentos em diversas áreas. A integração destes conceitos e equipes multidisciplinares exige uma metodologia genérica, com procedimentos e avaliações sistemáticas, que sirva de linguagem comum e defina claramente as interfaces entre os diferentes atores.

Dessa forma, constata-se a necessidade de uma metodologia que sirva como um guia geral para identificar possibilidades de pesquisa de desenvolvimento de novos produtos a partir de resíduos reciclados, analisando não apenas suas qualidades enquanto substitutos de matérias-primas, mas possibilitando também uma avaliação dos seus aspectos econômicos, de mercado, ambientais e de saúde ocupacional.

É diante destas necessidades que este trabalho vêm propor uma metodologia que permita (a) identificar alternativas para P&D de novos produtos reciclados, nos mais diversos setores industriais, que se mostrem tecnicamente viáveis, e (b) classificar as alternativas mais sustentáveis, considerando aspectos ambientais, de saúde ocupacional, econômicos e de mercado.

2 OBJETIVOS

Desenvolver uma metodologia para aplicação num estágio anterior aos estudos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de novos produtos reciclados, que avalie a possibilidade técnica de reciclagem de resíduos nos mais distintos setores industriais a partir de pareceres de especialistas de cada um destes setores;

- Disponibilizar uma metodologia que sirva de orientação aos geradores de resíduos (indústria), ao poder público e/ou à comunidade científica, para iniciarem projetos de P&D de novos produtos reciclados, a partir de uma lista de alternativas com potencial técnico de reciclagem.

3 PRINCÍPIOS DA METODOLOGIA

Esta metodologia foi baseada em grande parte em JOHN (2000), que sugere uma série de diretrizes para se criar uma metodologia de reciclagem de resíduos para uso

na construção civil. Embora o trabalho aqui apresentado seja genérico – de aplicação em qualquer setor produtivo.

Para atingir os objetivos estabelecidos de se criar uma metodologia para identificar a “vocação” de um resíduo para a reciclagem, ou seja, identificar alternativas sustentáveis para seu uso, foram estabelecidos 3 princípios que traduzem a essência deste trabalho.

PRINCÍPIO 1 – ANÁLISE CIENTÍFICA

A seleção de aplicações para um determinado resíduo deve estar condicionada às suas características e propriedades físico-químicas, e não a aplicações previamente escolhidas.

PRINCÍPIO 2 – SUSTENTABILIDADE

Além de viável tecnicamente a aplicação deve ser sustentável, considerando aspectos econômicos e de mercado, e os possíveis riscos ao meio ambiente e ao ser humano.

PRINCÍPIO 3 – ENFOQUE NO CICLO DE VIDA

A análise da sustentabilidade da aplicação deve considerar todos os estágios do ciclo de vida do produto reciclado para que os estudos sejam consistentes e confiáveis.

Com isso, pretende-se abandonar a forma tradicional de pensamento, que escolhe uma aplicação para o resíduo, sem embasamento científico, e depois utiliza energia e/ou matérias-primas para transformá-lo no produto previamente escolhido, sem considerar os custos e as consequências ambientais e à saúde humana.

4 DIRETRIZES DA METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta metodologia foram estabelecidas diretrizes que serviram de guia para a sua confecção e também estabeleceram condições de contorno para os processos de avaliação utilizados. O objetivo foi procurar desenvolver uma ferramenta que realmente seja útil e desperte interesse para sua constante utilização e aperfeiçoamento. As diretrizes estabelecidas foram:

➤ Custos baixos:

Utilizar métodos de aplicação rápida de forma a minimizar custos de aplicação;

Usar métodos, ferramentas e ensaios expeditos para fornecer agilidade à metodologia;

Utilizar sistemas de análise que gerem baixos custos para sua aplicação, de forma a não inibir seu uso;

➤ **Simplicidade:**

- Utilizar métodos de simples aplicação de modo que a metodologia seja facilmente utilizada e reproduzida;
- Não usar métodos e ferramentas excessivamente detalhados que desencorajem a utilização da metodologia;
- Permitir flexibilidade à metodologia de forma esta que se adapte aos diferentes resíduos e sistemas de reciclagem;

➤ **Confiabilidade:**

- Considerar nas avaliações critérios técnicos (de engenharia), ambientais, de saúde ocupacional, econômicos e de mercado;
- Utilizar métodos analíticos baseados em critérios científicos;
- Utilizar ferramentas de avaliação e de tomada de decisão reconhecidas e consagradas – científicos, tecnológicos ou industriais;
- Promover a participação de especialistas de diversas áreas nas avaliações de resultados e nas tomadas de decisões.

5 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

A partir dos princípios e diretrizes estabelecidas, a metodologia foi estabelecida nas seguintes etapas:

5.1 ETAPA 1 – COLETA DE DADOS

Esta primeira etapa foi definida para a criação de um dossiê do resíduo, ou seja, um conjunto de documentos com informações sobre os processos de geração, gerenciamento, composição e as formas de gerenciamento utilizadas para o resíduo. Tais informações são utilizadas nas etapas seguintes da metodologia e, portanto exerce, influência direta sobre os resultados finais da avaliação.

Conforme apresentado na **Figura 1** esta etapa é composta pelas seguintes atividades:

- Estudo do conhecimento;
- Análise da geração e gestão do resíduo;
- Procedimentos de coleta;
- Caracterização do resíduo.

5.2 ETAPA 2 – CONSULTA A ESPECIALISTAS

Nesta etapa são realizadas consultas a especialistas de diferentes setores produtivos, para verificar qual a possibilidade do resíduo ser usado em sua respectiva área, substituindo matérias-primas convencionais. O resultado desta etapa é uma lista com usos potenciais para o resíduo em diversas áreas de aplicações.

Conforme apresentado na **Figura 2** esta etapa é composta pelas seguintes atividades:

- Verificação do interesse pelo resíduo
- Definição das razões do interesse
- Definição de ensaios a serem realizados
- Especificação dos sistemas de reciclagem

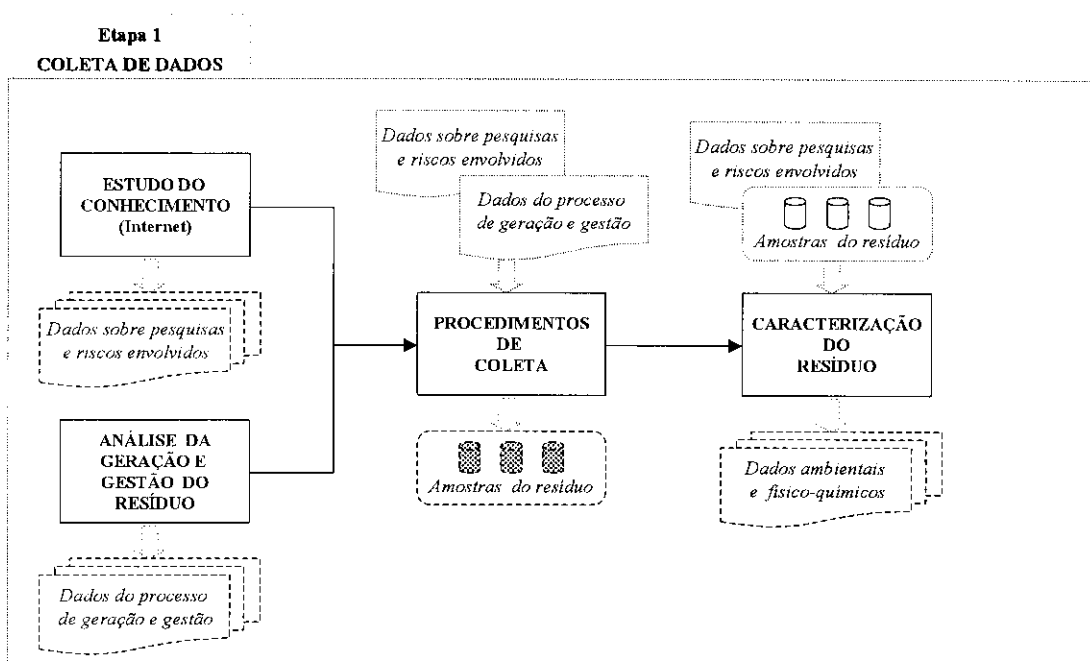


Figura 1 – Etapa 1 – Coleta de dados

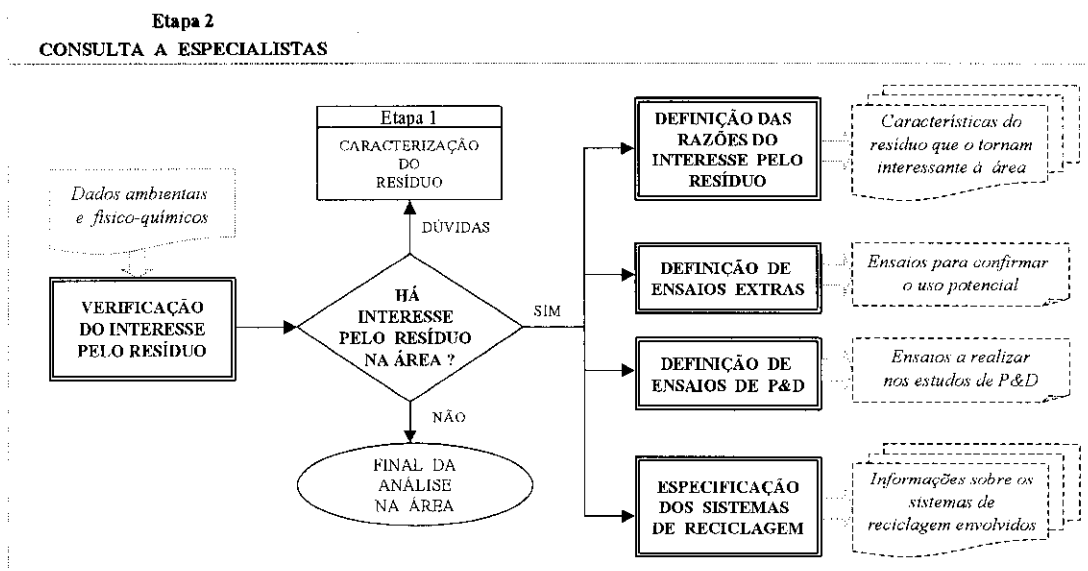


Figura 2 – Etapa 2 – Consulta à especialistas

5.3 ETAPA 3 – CONFIRMAÇÃO DO USO POTENCIAL

Nesta etapa são realizados os ensaios para comprovar se realmente os resíduos possuem potencial de serem usados nas áreas indicadas pelos especialistas.

Conforme apresentado na **Figura 3** esta etapa é composta pelas seguintes atividades:

- Realização dos ensaios para a confirmação o uso na área
- Verificação da possibilidade de uso do resíduo
- Definição de novos parâmetros a serem utilizados (eventual)

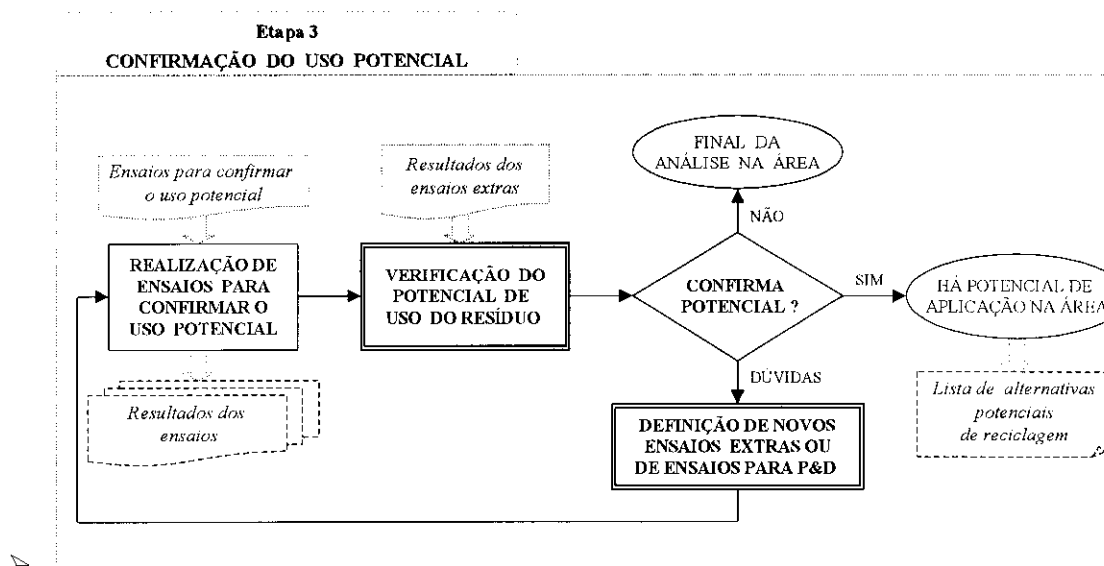


Figura 3 – Etapa 3 – Confirmação do uso potencial

5.3.1 Etapa 4 – Avaliação dos sistemas de reciclagem

Nesta etapa os sistemas de reciclagem envolvidos com as aplicações potenciais são avaliados qualitativamente quanto à sua sustentabilidade, considerando as informações de consumo de materiais e geração de resíduos, fornecidas pelos especialistas.

Conforme apresentado na **Figura 4** esta etapa é composta pelas seguintes atividades:

- Avaliação ambiental dos sistemas
- Avaliação de saúde ocupacional dos sistemas
- Avaliação econômica e de mercado dos sistemas

5.3.2 Etapa 5 – Hierarquização das alternativas potenciais

Nesta etapa, com base nos resultados das avaliações da sustentabilidade dos sistemas de reciclagem, cria-se uma hierarquia com o objetivo de selecionar aqueles mais sustentáveis. Para isso utiliza-se a técnica da Análise Hierárquica, conforme apresentado na **Figura 5**.

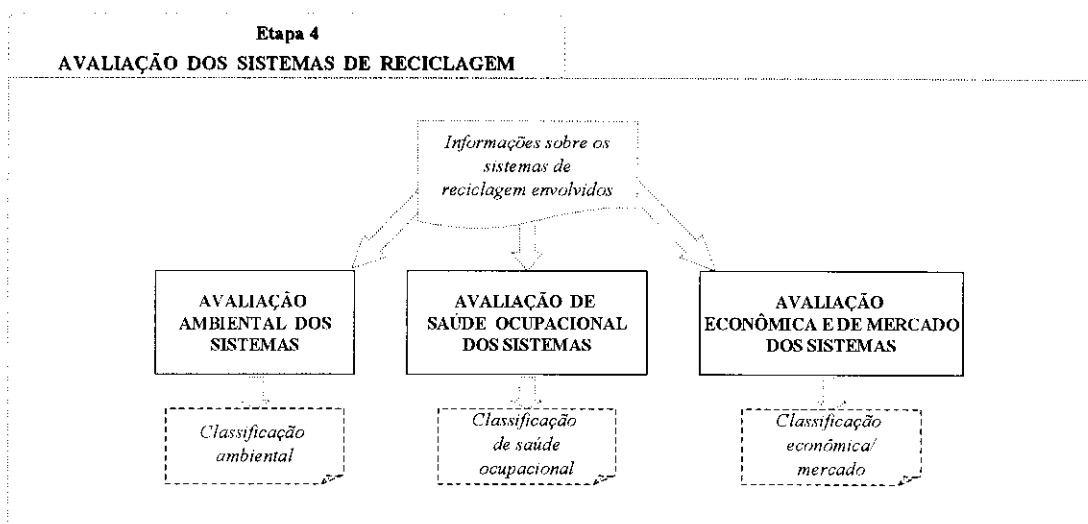


Figura 4 – Etapa 4 – Avaliação dos sistemas de reciclagem

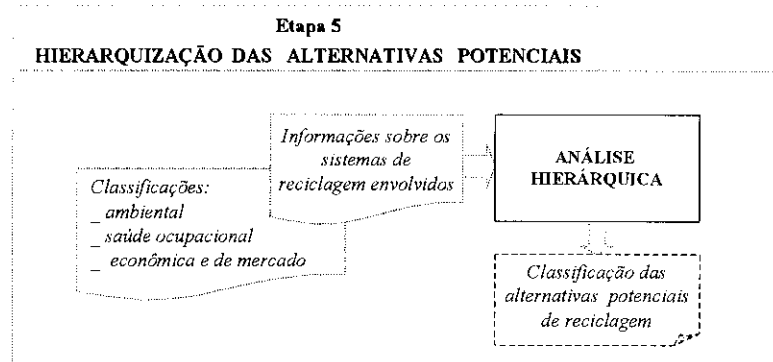


Figura 5 – Etapa 5 – Hierarquização das alternativas potenciais

A avaliação ambiental dos sistemas é baseada no desempenho ambiental dos sistemas de reciclagem, e utiliza os conceitos de identificação e classificação de aspectos e impactos da ISO14001, que trata de sistemas de gestão ambiental. Já a classificação de saúde ocupacional é baseada nos conceitos de identificação e classificação de riscos, preconizados pela OHSAS 18.001, que trata de sistemas de gerenciamento de saúde e segurança ocupacional.

6 ESTUDO DE CASO

Para testar esta metodologia foi desenvolvido um estudo de caso que avaliou os resíduos de construção e demolição (RCD) (ZORDAN, 1998) e o resíduo do tratamento de esgoto (torta) (DOS SANTOS, 2003).

Conforme prevê a metodologia, o resíduo foi caracterizado e especialistas de diversas áreas foram consultados para avaliar o potencial de reciclagem do material em sua área.

Após as entrevistas, cada uma das aplicações potencial foi classificada de acordo com seu desempenho econômico, de mercado, ambiental e de saúde ocupacional.

7 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O estudo de caso realizado para testar a aplicabilidade da metodologia foi de extrema importância para as descobertas de dificuldades, surpresas e incongruências que geralmente não são imaginadas quando os métodos ficam apenas na teoria.

Considerando estas descobertas, o processo de desenvolvimento do estudo de caso com os dois resíduos analisados e os resultados obtidos, as seguintes conclusões são estabelecidas para este trabalho:

- os objetivos propostos inicialmente por este trabalho, quanto ao tipo de metodologia a ser desenvolvida, foram amplamente atingidos, conforme demonstraram os resultados do estudo de caso – uma lista de aplicações potenciais para os dois resíduos estudados que pôde ser classificada segundo critérios ambientais, de saúde ocupacional, econômicos e de mercado;
- a tese estabelecida – de sobrepor o óbvio encontrando aplicações diferentes das convencionais – também foi comprovada considerando que a alternativa de reciclagem RCI III – Matéria-prima para produção de cerâmica de revestimento ou cerâmica branca, identificada para os resíduos de construção e demolição não possui referência em literatura;
- além disso, o co-processamento de RCD em fornos de cimento também não pode ser descrita como uma alternativa de reciclagem convencional, embora já fosse uma alternativa conhecida; isso reflete uma característica importante da metodologia, a de trazer à tona alternativas potenciais de reciclagem que pelas mais diversas razões possam estar “adormecidas” no mercado; isso pode ser

interessante até mesmo para resíduos com reciclagem já estabelecidas quando se deseja outras opções de mercado;

- considerando ainda que especialistas de outros setores industriais poderiam ter sido consultados, como por exemplo a indústria de papel e celulose, a indústria de remediação e recuperação de áreas degradadas e a indústria de saneamento, outras alternativas ainda poderiam ter sido levantadas;
- desta forma, o critério utilizado de buscar alternativas de reciclagem a partir das características físico-químicas mostrou-se adequada uma vez que as formas tradicionais foram indicadas, indicando coerência, e o mais importante, a indicação de formas não convencionais e ainda não exploradas de reciclagem;
- para que um dos principais princípios da metodologia fosse respeitado – a avaliação de alternativas baseada nas características e propriedades físico-químicas do material – a identidade do resíduo não foi revelada até o final da entrevista; embora alguns especialistas tivessem noção de que resíduo era, foi surpreendente que os que não desconfiavam do que se tratava, tentavam voltar atrás na opinião positiva que já haviam formulado, depois que lhes era revelada a identidade do material; isso deixa claro como visões pré-concebidas sobre a reciclagem de determinados resíduo pode interferir nas pesquisas de reciclagem;

8 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FAPESP, FINEP e a todos os especialistas consultados que contribuíram para a realização deste trabalho.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOS SANTOS, A.. Estudos dos resíduos de tratamento de esgoto e possibilidades de reciclagem. São Paulo, 2003, 138p. Texto de qualificação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (Livre Docência) São Paulo, 2000. 102 p. Departamento de Engenharia de construção civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JOHN, V.M.; ZORDAN, S.E. Research & development methodology for recycling residues as building materials - a proposal. Journal: Waste Management 21 (3) (2001) pp. 213-219.

MASUERO, A. B. Estabilização das escórias de aciaria com vistas a sua utilização em materiais de construção civil. Porto Alegre: UFRGS/ PPGEM, 1997 (Proposta de Tese).

SKINNER, J.H. International progress in solid waste management. Environmental aspects of construction with waste materials. Amsterdam: Elsevier Science, 1994. 1. ed. Amsterdam: Ed. Elsevier Science B. V., 1994. 988 p. p.7-16. ISBN 0-444-81853-7.

ZORDAN, S.E. Entulho da Indústria da Construção Civil. FICHAS TÉCNICAS. 1998. Disponível na Internet: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em 15.fev.03.