

DESENVOLVIMENTO DE FLUXOGRAMA PARA O BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE AREIA ARTIFICIAL⁽¹⁾

*Ricardo F.A. Lanzellotti (2)
Maurício Leonardo Torem (2)
Adão Benvindo da Luz (3)*

Resumo

Qualquer atividade humana é por natureza geradora de resíduos. As atividades industriais são um dos grandes geradores de resíduos, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, os quais devem ser gerenciados corretamente visando à minimização de custos e redução do potencial de geração de impactos ambientais. De acordo com as Leis 6.938/81, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, e a 9.605/98, que trata dos crimes ambientais, a responsabilidade pela reparação de qualquer dano ambiental, independente do fato gerador, a empresa será chamada para remediar qualquer passivo gerado devida à má gestão de resíduos, onde a responsabilidade da empresa não cessa quando estes deixam suas instalações, incluindo sua destinação final. Desta forma a reciclagem de materiais da construção civil deve ser subsidiada por um programa bem mais amplo, onde envolva além do processamento dos resíduos, a recuperação de áreas degradadas com limpeza; a implantação de áreas destinadas à recepção de materiais oriundos da construção civil, reduzindo a necessidade de áreas públicas usadas como aterro. O desenvolvimento de técnicas que visem a redução dos impactos ambientais causados tanto pela geração de resíduos como pela extração de agregados naturais, são de significativa importância uma vez que a legislação vigente indica este caminho como o único a ser seguido. Desta forma desenvolveu-se um fluxograma para o beneficiamento do resíduo da construção civil visando a produção de agregado reciclado miúdo a ser utilizado na confecção de argamassas e concretos em substituição, total ou parcial, da areia sem perdas significantes na resistência a esforços mecânicos.

Palavras-chaves: Entulho; Resíduos; Areia artificial; Reciclagem.

¹ 60º Congresso Anual da ABM, Julho de 2005, Belo Horizonte - MG.

² Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia / Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

³ Centro de Tecnologia Mineral – CETEM-MCT

INTRODUÇÃO

O setor da construção é caracterizado por índices significativos de desperdícios, as falhas no gerenciamento, a baixa produtividade, e as perdas de tempo e de materiais, contribuem para que este índice permaneça próximo dos históricos 30%.

O **RCD**, resíduos de construção e demolição, respondem por uma significativa parcela dos resíduos sólidos municipais. Gerenciá-los, numa grande cidade, além de difícil é extremamente custoso e a tendência é o aumento destas dificuldades na mesma proporção em que é gerado.

Velhos aterros de inertes estão rapidamente sendo preenchidos e, locais para a implantação de novos estão se tornando cada vez mais escassos e afastados das cidades.

Algumas prefeituras, tentando solucionar o problema, montaram usinas de reciclagem de resíduos da construção civil, as primeiras a serem implantadas, como a de Itatinga, na cidade de São Paulo, e a de Londrina, no Paraná, não atingiram os objetivos desejados, resultando em plantas deficitárias e ociosas.

Mas existem exemplos com sucesso, como o da cidade de Belo Horizonte-MG, que iniciou um programa de reciclagem de entulho, incluindo a instalação de usinas de reciclagem. A primeira delas está operando eficientemente desde novembro de 1995.

Porém a execução do processo antecedeu o desenvolvimento das pesquisas, a falta de conhecimento das características de composição e o teor de contaminantes provocaram uma utilização simplificada que impediu o crescimento do consumo como produto alternativo, mesmo apresentando um custo atraente, agregando ao material o conceito totalmente errôneo da qualidade inferior do produto reciclado.

Todos estes fatores levam à busca de alternativas para minimizar o impacto gerado pela indústria da construção. A limitação das perdas de materiais se apresenta como a primeira alternativa para sanar o problema da geração de resíduos de construção. Tal solução aparece como boa alternativa para uma utilização mais racional de recursos, redução nos custos dos empreendimentos e redução nos custos de gerenciamento dos resíduos que são ocasionados pelas edificações seja na fase de construção ou utilização.

Vencer a barreira do baixo patamar tecnológico das edificações, através de um gerenciamento mais eficiente para a construção civil, resultará em produtos finais de maior qualidade. Porém, o fato de existir um desenvolvimento crescente nos centros urbanos, que leva as estruturas a obsolescência, e o fato destas possuírem uma vida útil limitada, com necessidade de manutenções e reparos, leva, indubitavelmente, a uma contínua geração de resíduos.

Deste modo, a disposição deste material e o aumento da demanda por matéria prima para execução de novas obras continua a ser um problema que deve ser resolvido.

O mercado da construção civil se apresenta como uma das melhores alternativas para consumir materiais reciclados, pois a atividade de construção é realizada em qualquer região, o que já reduz custos como o de transporte.

A reciclagem de resíduos de construção em escala industrial é prática recente no Brasil, iniciada na década de 80 com o uso de pequenos moinhos em construção de edifícios, por meio dos quais os resíduos de alvenaria eram reaproveitados na produção de argamassas para aplicação em emboço,

principalmente (ANVI,1995; HAMASSAKI et al., 1997; I&T, 1995c; KAZMIERCZAK, 1998; LEVY 1997; PINTO 1989, 1994; ZORDAN 1997 e outros).

Porém estes estudos começaram com o objetivo de se avaliar as perdas dos materiais de construção nos canteiros de obras, PINTO (1989) publicou uma pesquisa de campo realizada em São Paulo, onde constatou que o índice de perda de materiais nos canteiros atinge índices significantes, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1. Índices de perdas verificados na construção de um edifício (PINTO, 1989)

Material	Desperdício (% em massa)	
	Real	Usual
Aço	26.19	20.00
Areia	39.02	15.00
Argamassa	86.68	10.00
Azulejo	9.55	10.00
Cal Hidratada	101.94	15.00
Cerâmica Vitrificada	7.32	10.00
Cimento	33.11	15.00
Concreto	1.34	5.00
Madeiras	47.75	15.00
Outros	12.73	5.00

PICCHI (1993) pesquisou as perdas em três construções residenciais no período de 1986 e 1987, quantificando os resíduos retirados das obras. Não foram levantados os desperdícios de materiais incorporados a construções. Os resultados para as perdas globais de materiais são da mesma ordem de grandeza dos de PINTO, (Tabela 2)

Tabela 2. Resultados de pesquisa de desperdício de materiais em três construções residenciais (PICCHI, 1993)

Obra	Área construída (m ²)	Duração da Obra (mês)	Volume de entulhos (m ³)	Massa do Entulho (ton/m ²)	Perdas (% em massa)
A	7.619	17	605.50	0.095	11.20
B	7.982	15	707.70	0.107	12.60
C	13.581	16	1.645.00	0.145	17.10

1 - massa específica adotada ao entulho = 1.2 t/m³

Pode-se observar que muitos dos índices variaram significativamente conforme a obra analisada, e segundo os autores isto se deve a diferenças nos procedimentos de estocagem e manuseio, ao gerenciamento e a outras condições particulares de cada construção. Os autores compararam as médias de perdas dos materiais com outros números encontrados na bibliografia

Desta forma, observando os resultados apresentados pelos diversos autores conclui-se que as perdas nos canteiros de obras podem ser representadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa das perdas dos materiais avaliados

Material	Custo das perdas de materiais (%)					
	Custo teórico (%)	A	B	C	D	E
Aço	4.31	5.12	5.49	5.30	4.65	5.10
Areia	0.94	1.19	1.22	1.13	1.97	1.34
Argamassa	0.69	1.40	0.69	0.97	1.24	1.20
Cimento	5.24	9.25	7.61	7.04	13.19	11.15
Concreto	5.38	5.96	6.01	6.32	5.42	6.73
Tijolos Furados	2.25	3.15	3.15	3.06	2.85	4.66
Tijolos Maciços	0.27	0.39	0.31	0.32	0.34	0.52
Demais Materiais + MDO	80.92	80.92	80.92	80.92	80.92	80.92
Total	100	107.38	105.40	105.06	110.58	111.62
Custo da perda	-	7.38	5.40	5.06	10.58	11.62

A, B, C, D, E – Obras analisadas

Assim os resultados apresentados indicam a necessidade da reciclagem destes resíduos, segundo PIT & QUARRY (1990) mineradoras americanas estão apostando na reciclagem do entulho blendando porcentagens de reciclados com os agregados naturais extraídos, gerando, somente no processamento do reciclado, US\$ 500.000 anuais utilizando os mesmos equipamentos da jazida, agregando valor a um material descartado além de aumentar o tempo de vida da jazida.

ALTHEMAN em 2002 propõe que o RCD deve ser separado no local gerado e separado por categoria, como mostram as Figuras 1 e 2.

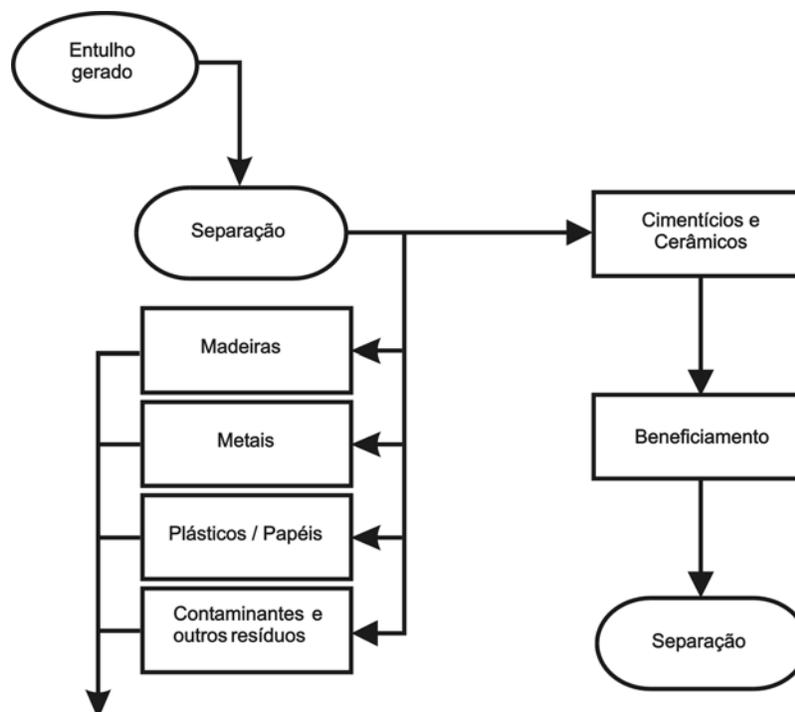


Figura 1. Esquemático da gestão do entulho na obra – ALTHEMAN (2002)

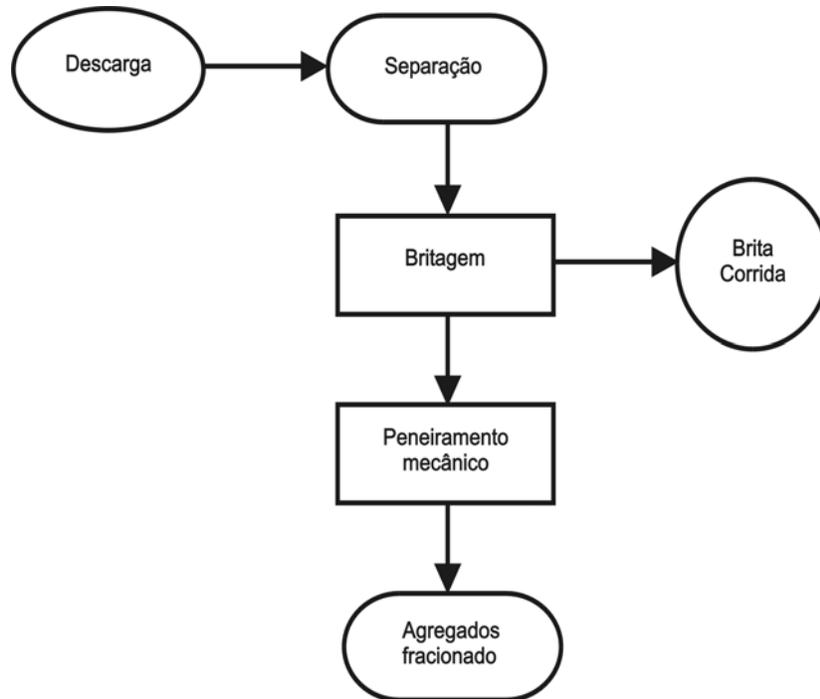


Figura 2. Esquemático da reciclagem do entulho na usina de Vinhedo- ALTHEMAN (2002)

A Figura 3 demonstra a proposta sugerida pelo US ARMY CORPS OF ENGINEERS onde o RCD é beneficiado através de etapas de fragmentação e classificação granulométrica.

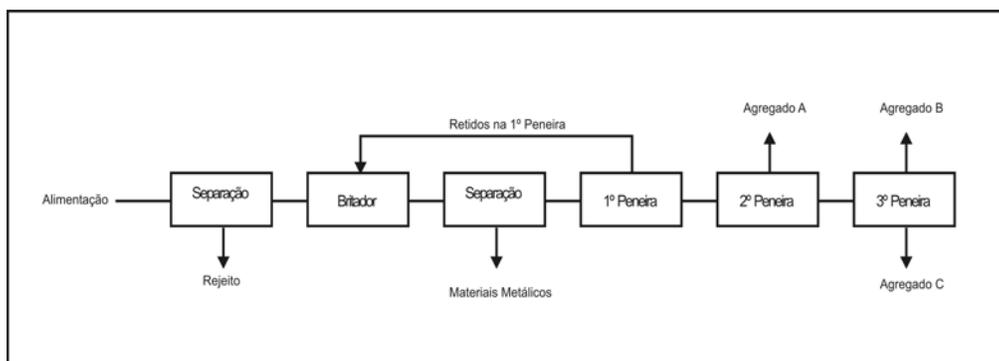


Figura 3. Beneficiamento de RCD - US ARMY CORPS OF ENGINEERS – 2002

CHEN et al (2003) propõe, em função da heterogeneidade da composição do material, o seguinte fluxograma (Figura 4), para o beneficiamento do RCD:

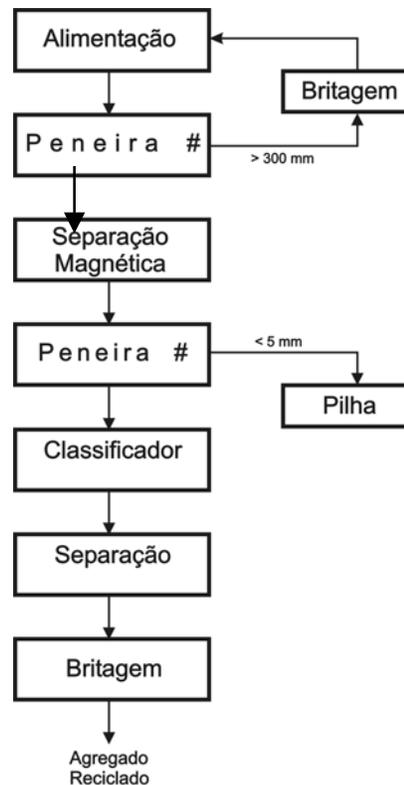


Figura 4. Produção de agregado reciclado – Chen et al (2003)

Desta forma, baseando-se nas propostas de fluxogramas apresentadas, realizou-se os cálculos necessários para a determinação dos equipamentos e sua eficiência na produção de agregados reciclados.

RESULTADOS E DICUSSÕES

Como o objetivo do estudo é o desenvolvimento do processo em situações reais, efetuou-se uma análise qualitativa através de amostras coletadas no aterro sanitário do Município de Niterói, que foi escolhida por ser uma cidade de médio porte e possuir o setor de construção civil em atividade plena, gerando em média 350t/dia de resíduos, possibilitando uma análise o mais próxima da realidade dos resíduos gerados na maioria das cidades de médio porte do país.

Para isso coletaram-se amostras diárias a fim de obter-se uma amostra final que representasse o universo a ser estudado. A partir destas amostras foram realizados ensaios de caracterização tecnológica e posteriormente, ensaios em corpos de provas moldados em argamassa moldada confeccionadas com cimento e areia, onde a areia foi substituída gradualmente pelo agregado reciclado miúdo.

A caracterização tecnológica demonstrou que o agregado produzido e classificado granulométricamente numa faixa abaixo da peneira # 6 na escala Tyler (3,32mm) , apresenta uma composição preferencialmente de SiO₂, independente da origem, cimentícia ou argilo-mineral, do material. Este fato ocorre devido a origem quartzítica do RCD.

Com a fragmentação o dióxido de sílica é liberado dos outros materiais quando os grãos atingem diâmetro médio de 3,5mm.

Desta forma conclui-se que o comportamento do agregado reciclado miúdo,

com \varnothing máximo de 3,3mm, difere substancialmente do agregado reciclado graúdo, uma vez que as características físicas também são bastante diferentes pois apresentam composições diversas.

Assim, através de consulta nos manuais dos fabricantes, selecionaram-se os equipamentos necessários a produção, preferencialmente, de agregados reciclados miúdos a partir de resíduos da construção civil, conforme apresenta a Figura 5.

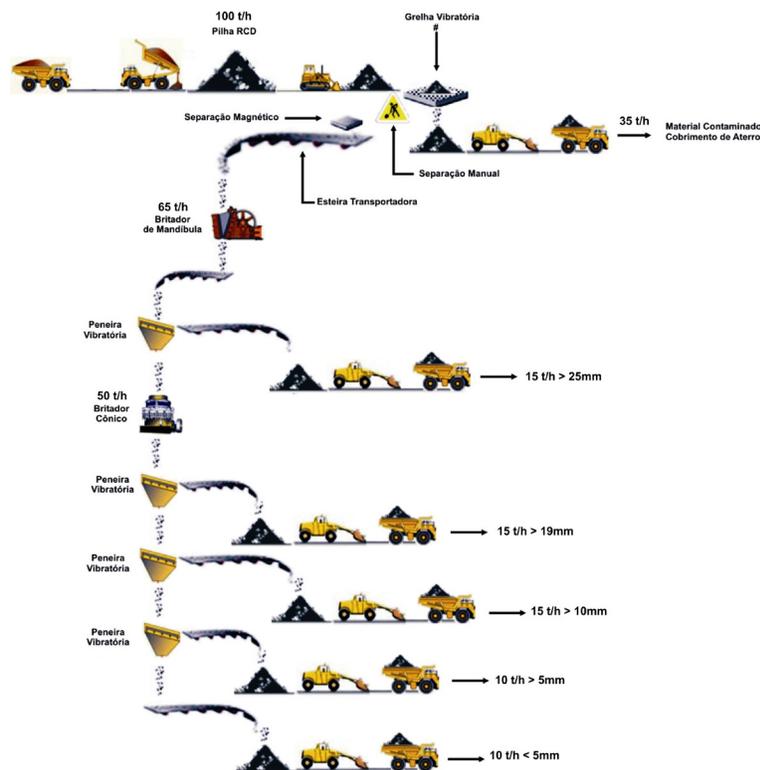


Figura 5. Fluxograma proposto para a produção de agregado reciclado

Desta forma realizaram-se os ensaios mecânicos, onde os resultados obtidos em Cps moldados com agregado natural (areia) blendado com agregado reciclado atingiram níveis satisfatórios até a proporção de 70% de substituição.

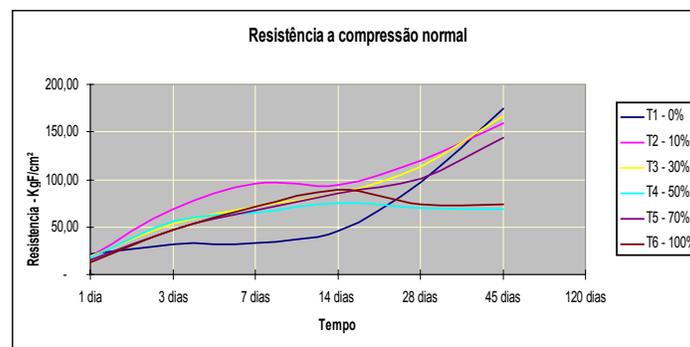


Figura 6. Gráfico de resistência a compressão

Estes resultados corroboram com os atingidos por CHEN et al (2003), conforme apresenta a Figura 7.

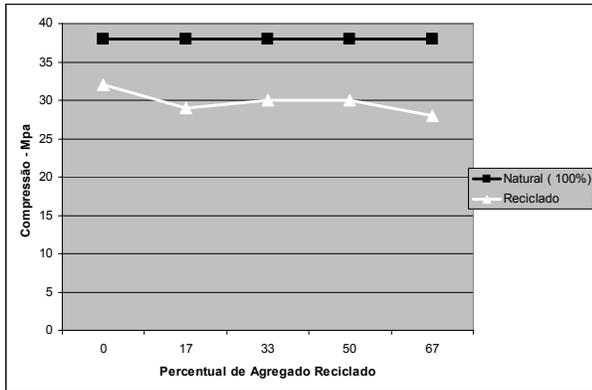


Figura 7. Gráfico referente ao ensaio de compressão
- CHEN et al (2003)

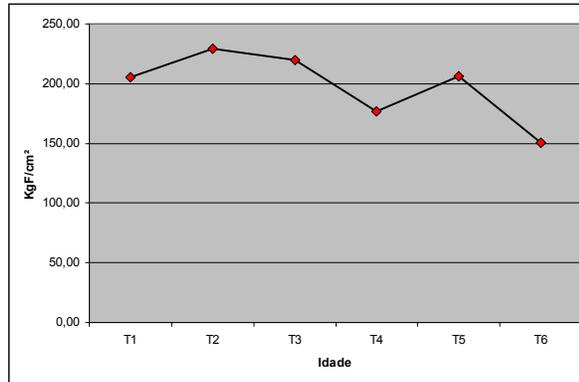


Figura 8. Gráfico referente ao ensaio de compressão
em função do traço

CONCLUSÃO

Observando os resultados obtidos conclui-se que para o desenvolvimento de fluxograma e posteriormente, a implantação de plantas com o objetivo de se obter agregados reciclados originários de resíduos da construção civil, acompanha sistematicamente o modelo de cálculo para operações de mineração para a produção de agregados naturais, rochas.

Os equipamentos utilizados também são os mesmos presentes nas plantas para produção de agregados naturais, diferindo somente na eficiência, onde encontra-se melhores performance no processamento do RCD.

Como ocorre a liberação das espécies minerais na faixa granulométrica menor que 3,30mm, agregado miúdo, conclui-se que esta é a forma mais indicada de se utilizar o material, uma vez que apresenta propriedades físico-químicas semelhante ao agregado miúdo natural (areia) e desta forma apresenta maior valor agregado.

Outro fato observado é a flexibilidade do fluxograma, que pode atender diversas situações, podendo ser montado em plantas fixas ou móveis, possibilitando sua aplicação até no próprio canteiro de obras.

Esta flexibilidade gera uma redução no custo de implantação, pois dispensa grandes áreas e deslocamentos com transporte do resíduo e conseqüentemente do agregado produzido, desta forma viabilizando seu uso por construtoras e pequenos municípios que necessitam se adequar a nova legislação.

Agradecimentos

Ao CETEM-MCT pela disposição de seus laboratórios e ao CNPq pelo apoio financeiro dado a pesquisa

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AJDUKIEWICZ, A.; KLISZCZEWICZ, A. – **Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC** , Cement and Concrete Composites, Poland, 2002.
- 2 ÂNGULO, Sergio Cirelli; JOHN, Vanderley Moacyr - **Determinação dos teores de concreto e argamassa em agregados graúdos de RCD reciclados**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO
- 3 CONCRETO, 43º, Foz do Iguaçu - PR. IBRACON- Instituto Brasileiro do Concreto, 2001.
- 4 ÂNGULO, Sergio Cirelli; JOHN, Vanderley Moacyr - **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados** – São Paulo - EPUSP, 2001.
- 5 CORINALDESI V., GIUGGIOLINI M., MORICONI G.- **Use of rubble from building demolition in mortars**, Waste Management, Italia, June 2002.
- 6 CUR – COMMISSIE VOOR UITVOERING VAN RESEARCH- **Betonpuingranulaaten Metselwerkpuins Granullat als Toeslagmateriaal van Beton**. Rapport 125. CUR, Holanda. (Entulho de concreto e alvenaria como agregado para concreto. CUR Relatório 125) 1986.
- 7 DA LUZ, A. B. ; SAMPAIO, J. A. ; MONTE, M. B. M. ; ALMEIDA, S. L. M. – **Tratamento de Minérios** – 3º edição – CETEM – Rio de Janeiro, 2002.
- 8 HOW-JI CHEN, TSONG YEN, KUAN-HUNG CHEN- **Use of building rubbles as recycled aggregates**, Cement and Concrete, Research, Taiwan, 33, 125–132, July 2002.
- 9 INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA- I&T - **Programa de Gestão Diferenciada de Resíduos de Construção no Município de São José dos Campos/SP**. São Paulo, I&T - documento interno, 1995.
- 10 LANZELLOTTI, R. F. A. ; TOREM, M. L. ; DA LUZ, A. B. - **Tecnologia de beneficiamento mineral utilizada na produção de agregados reciclados para construção civil** - Contribuição ao 59º Congresso Anual da ABM – Internacional, Julho de 2004, São Paulo, SP.
- 11 LEITE, M. B. - **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- 12 LEVY, Salomon Mony. - **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**.Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- 13 LIMA, J. A. R. - **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo , São Carlos, 1999.

DEVELOPMENT OF FLOW CHART FOR THE IMPROVEMENT OF WASTE CONSTRUCTION IN ARTIFICIAL SAND ⁽¹⁾

Ricardo F.A. Lanzellotti (2)
Mauricio Leonardo Torem (2)
Adão Benvindo da Luz (3)

Resumo

Any human activity is by nature generating of residues. The industrial activities are one of the great generators of residues, be solid, liquids or gaseous, which should be correctly management seeking to the minimize costs and reduction of the potential generation in environmental impacts. In agreement with the Laws 6.938/81, that establish the National Policies of the environment, and the 9.605/98, that's treats of the environmental crimes, the responsibility for the repair of any environmental damage, independent of the generating fact, the company will be called to remedy any passive one generated owed to the bad administration of residues, where the responsibility of the company doesn't cease when these leave your facilities, including your final destination. This way the recycling of materials construction should be subsidized by a much wider program, where it involves besides the processing of the residues, the recovery areas degraded with cleaning; the implantation of areas destined to the reception of materials originating from constructions, reducing the need public areas used as embankment. The development of techniques that's seek the reduction of the environmental impacts caused so much by the generation of residues as for the extraction of natural aggregate, they are of significant importance once the effective legislation indicates this only way to be proceeded. The development of the improvement waste construction seeking the production of small recycled aggregate to be used in the making of mortars and concretes in substitution, total or partial, of the sand without significant losses in the resistance to mechanical efforts.

Key-words: Waste; Residues; Artificial sands; Recycling.

¹ 60º Congresso Anual da ABM, Julho de 2005, Belo Horizonte - MG.

² Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia / Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

³ Centro de Tecnologia Mineral – CETEM-MCT