

CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) RECICLADO

CHARACTERIZATION OF THE CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES (RCD) RECYCLED

Silva, R.W.C¹ ; Arnosti Jr., S.²

- (¹) Engenheiro Ambiental, Rua Bom Pastor 342, cep 13401-440, Piracicaba SP, robsonwillians@yahoo.com.br
- (²) Professor da Escola de Engenharia de Piracicaba, Curso de Engenharia Ambiental, Monsenhor Martinho Salgot, 560, cep 13414-040, Piracicaba SP, sergio.arnosti@itelefonica.com.br

RESUMO

O desenvolvimento das cidades brasileiras aumenta o consumo de materiais de construção civil, conseqüentemente gerando grande quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Na cidade de Piracicaba, através da Empresa de Desenvolvimento Habitacional de Piracicaba (EMDHAP), o RCD está sendo reciclado e posteriormente utilizado na confecção de blocos e pisos para vedação, nas aterragens e revestimento primário, em logradouros sem pavimentação, realizados pela prefeitura municipal. Mas inúmeras prefeituras e empresas privadas estão utilizando o RCD reciclado, sem conhecer as suas propriedades físicas e principalmente químicas, bem como a sua classificação perante a norma regulamentadora a NBR 10004. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o RCD reciclado. Para tanto foram realizadas análises físicas e químicas através das quais constatou-se que o RCD reciclado tem potencial tecnológico para confecção de blocos de concreto, pisos, base e sub-base de pavimentação, etc., baixa variabilidade de suas propriedades físicas, devido às amostras serem obtidas após a etapa de homogeneização de cada lote, e no que diz respeito às propriedades químicas, o resíduo apresentou grande variabilidade em alguns parâmetros. Quanto à classificação do RCD reciclado da EMDHAP é um resíduo Classe II A – não inerte, segundo a NBR 10004, (2004) e é um resíduo Classe II – não inerte, segundo a NBR 10004 (1987).

Palavras-chave: resíduos de construção e demolição (RCD), caracterização de resíduos, resíduos sólidos.

Recebido em: 17/05/2005	HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.138
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

ABSTRACT

The development of Brazilian cities increases the consumption of building site materials, consequently generating great amount of Construction and Demolition Wastes (RCD). In the city of Piracicaba, through the Company of Habitational Development of Piracicaba (EMDHAP), RCD is being recycled and later used in the making of blocks and floors for blocking, in the undertrashings and primary covering, in public areas without paving, accomplished by the city hall. But countless city halls and deprived companies are using recycled RCD, without knowing their physical properties and mainly chemistries, as well as its classification before the norm regulation NBR 10004. The objective of this work was to characterize recycled RCD. For that both physical and chemical analyses were accomplished through which it was verified that recycled RCD has technological potential for making of concrete blocks, floors, base and sub-base paving, etc., low variability of their properties physical, due the samples be obtained after the stage of homogenization of each lot, and in the chemical properties, the waste presented great variability in some parameters. As the classification of recycled RCD of EMDHAP is a waste of Class II A - no inert, according to NBR 10004 (2004) and it's a waste Class II - no inert, according to NBR 100041 (1987).

Key words: construction and demolition wastes (RCD), characterization of wastes, solid wastes.

1. INTRODUÇÃO

A geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) decorre do desenvolvimento do setor, dependendo de técnicas e metodologias de produção, nível de qualificação da mão de obra e programas de gerenciamento de resíduos. Em pesquisa feita por Pinto (1999), em 10 cidades brasileiras, a geração de RCD variou de 230 a 760 kg/hab.ano, representando entre 41% e 70% de resíduo sólido municipal.

A reciclagem do RCD no Brasil é recente, sendo que as centrais de reciclagem brasileiras são municipais. A resolução nº 307 (CONAMA, 2002), que entrou em vigor em janeiro de 2005, define responsabilidades e prazos, estabelecendo regras para as prefeituras e geradores que elaborem planos de gerenciamento integrado do RCD.

Levy (1997) define o Resíduo de Construção e Demolição (RCD) ou entulho como sobras ou rejeitos, constituído por todo material mineral oriundo do desperdício inerente ao processo construtivo. Mas a resolução nº 307 (CONAMA, 2002), no seu art. 2º (ANEXO I), em sua definição de RCD, além de citar rejeitos minerais inclui metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forro, argamassa, gesso, telas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas, etc.

<i>Recebido em: 17/05/2005</i>	<i>HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.139</i>
<i>Liberado para Publicação em: 18/04/2006</i>	<i>ISSN: 1519-8634</i>

Segundo Cavalcanti (2003), o entulho que sai dos canteiros de obras brasileiras é composto basicamente por 64% de argamassa, 30% de componentes de vedação como tijolos e blocos e 6% de outros materiais como concreto, rocha, e materiais deletérios (metais, plástico, papel, solo, etc.). Do ponto de vista químico, a composição estimada do RCD brasileiro em óxidos, seria majoritariamente sílica, seguido de alumina e óxidos de cálcio (ANGULO et al., 2002).

São gerados no município de Piracicaba, aproximadamente, 620 t/dia de RCD numa taxa de 0,59 t/hab.ano, que corresponde à 67% de todo resíduo sólido gerado pela cidade (PREFEITURA MUNICIPAL DE PIRACICABA, 2001).

Em 2002, iniciou-se em Piracicaba o plano de gestão sustentável do RCD gerado. A EMDHAP (Empresa de Desenvolvimento Habitacional de Piracicaba), entidade ligada à prefeitura, que faz a reciclagem do resíduo, produz aproximadamente 110 t/dia de agregado de RCD reciclado. A EMDHAP produz agregados que podem possuir composição granulométrica variada, sendo o diâmetro máximo de 0,075 m e a peneira de menor abertura com diâmetro de 0,0036 m. Desta forma, a recicladora produz agregados tipo bica corrida.

A EMDHAP recicla dois tipos de entulhos separadamente, sendo que, os ricos em cimento (coloração clara) são utilizados para confecção de blocos de concreto e pisos intertravados e os mistos (coloração avermelhada) são utilizados para revestimentos primário de logradouros públicos, base e sub-base de pavimentação e principalmente em operações de aterragens compactadas.

A caracterização do RCD constitui uma etapa fundamental na gestão do resíduo. A análise das características estruturais, geométricas e ambientais do RCD reciclado visa maximizar a produção e a utilização do mesmo (CARNEIRO et al., 2000; CHERIAF e ROCHA, 1997). Segundo Lima (1999), a possibilidade de utilização de um resíduo se avalia não somente do ponto de vista das características técnicas necessárias a aplicação que se deseja, mas também da perspectiva do possível impacto ambiental que possa causar.

Além disso, a presença, no RCD reciclado, de algumas substâncias consideradas impurezas ou contaminantes, como por exemplo betume, polímeros, gesso (sulfato), matéria orgânica, amianto, sílica amorfa, diversas substâncias reativas, concreto de cimento aluminoso, etc., podem prejudicar o desempenho técnico estrutural dos materiais produzidos com RCD reciclado, e também o meio ambiente (CARNEIRO et al., 2001; ANGULO e JOHN, 2002).

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas e químicas do RCD reciclado na EMDHAP e suas respectivas variabilidades observadas em uma escala temporal de 6 quinzenas e ainda identificar os possíveis contaminantes ambientais presentes no resíduo reciclado, visando classificá-lo de acordo com a norma NBR 10004 (1987, 2004).

Recebido em: 17/05/2005	HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.140
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material

O material utilizado foi o RCD reciclado proveniente da central de reciclagem de Piracicaba localizada na EMDHAP, tipo misto avermelhado, com diâmetro médio (ϕ) inferior a 0,0036 m. Este material foi escolhido devido sua ampla utilização em Piracicaba. Conforme informações dos constituintes do RCD bruto foram obtidas através do gerente de processos da EMDHAP, o RCD reciclado utilizado neste trabalho é originário de RCD Classe A, segundo (CONAMA, 2002).

2.2. Amostragem

Para obtenção e preparação de amostras representativas tomaram-se por base as normas técnicas NBR 7216 (1982) e NBR 1007 (1987) da ABNT. O procedimento de amostragem consistiu de coletas diárias de aproximadamente 4 kg durante 15 dias, representando assim um lote quinzenal de 60 kg. Foram obtidos 6 lotes quinzenais, levando em consideração a escala temporal na amostragem, durante o período de realização do trabalho.

2.3. Propriedades Físicas

Foram realizados ensaios para determinação das propriedades físicas, sob o ponto de vista estrutural, visando trazer informações no âmbito da aplicabilidade do agregado de RCD reciclado.

As análises granulométricas dos 6 lotes de RCD reciclado, foram realizadas por peneiramento em combinação com sedimentação, conforme prescreve a NBR 7181 (1984).

Para a determinação dos limites de consistência das composições dos 6 lotes do RCD reciclado foram realizados os ensaios de Limite de Liquidez (LL) segundo a NBR 6459 (1984) e o Limite de Plasticidade (LP) segundo a NBR 7180 (1984).

Foram também realizados ensaios para a determinação da massa específica dos grãos que passam na peneira 4,8 mm, conforme prescreve a NBR 6508 (1984), e ensaios para determinação da absorção de água em agregados miúdos, conforme prescreve a NBR 9777 (1987).

Todos os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Solos e Construção Civil da Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP/FUMEP), e foram feitas réplicas conforme sugestões das normas utilizadas.

2.4. Propriedades Químicas

Para determinação das propriedades químicas do RCD reciclado, foram necessárias as preparações dos extratos de massa bruta, solubilização e lixiviação. O método utilizado para a digestão ácida de sedimentos, argilas e terras dos lotes de RCD reciclado foi da EPA 3050B (1996). Para o teste de solubilização adotou-se a NBR 10006 (1987) e para o teste de lixiviação foi seguida a NBR 10005 (1987).

Recebido em: 17/05/2005	<i>HOLOS Environment</i> , v.5 n.2, 2005 - P.141
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

Os extratos de massa bruta foram analisados pela seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) utilizando o Sistema de Espectrometria de Plasma Induzido em Argônio (ICP/AES). Os parâmetros analisados foram: Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, V, Zn. Os resultados obtidos nas análises dos extratos de massa bruta não foram utilizados para classificação, e sim para caracterização do material sob o ponto de vista de composição química. Sendo assim foi utilizado como parâmetro de comparação a NBR 10004 (1987).

Os extratos de solubilizados foram analisados pela seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do IAC utilizando o Sistema ICP/AES – Método 6010-B (1996) para os elementos: Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Zn, e o método de Espectrofotometria de Emissão em Chama (FES) para os elementos K e Na. Alguns compostos como Cianeto, Cloreto, Nitrato e Sulfato foram analisados no Centro de Estudos Ambientais (CEA/UNESP) de Rio Claro, seguindo metodologias de Eaton et al. (1995). O elemento Cd foi analisado pelo mesmo laboratório do CEA/UNESP, mas seguindo o sistema Espectrofotometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma de Argônio Indutivo (ICP/OES).

Os extratos de lixiviados foram analisados pela seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do IAC utilizando o Sistema ICP/AES para os elementos: Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Zn, e o método de (FES) para os elementos K e Na. O composto Fluoreto foi analisado no CEA/UNESP, seguindo metodologia de Eaton et al. (1995).

Para classificação do RCD reciclado da EMDHAP foram utilizadas as NBR 10004 (1987, 2004).

O teor de dureza total (CaCO_3) foi determinado seguindo o método sugerido por Macedo (2003).

Para determinação do teor de sólidos voláteis incluindo a matéria orgânica, seguiu-se o método sugerido por Silva (1977).

Todos os testes de caracterização química foram realizados em triplicata para cada lote de RCD reciclado analisado, sendo que as análises dos compostos químicos como Fluoreto, Cloreto, Nitrato, Sulfato e o Cd (solubilizado) foram realizadas somente com uma cota de cada lote do material.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades Físicas

Na Tabela 1 observa-se os resultados dos ensaios de análise granulométrica dos 6 lotes do RCD reciclado.

Tabela 1 – Frações granulométricas (%) e classificação (ϕ em 10^{-3}m) de acordo com a NBR 6502 (1984).

LOTES	Análise Granulométrica					
	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
	4,8 – 76,0	2,0 – 4,8	0,42 – 2,0	0,06 – 0,42	0,002 – 0,06	> 0,002
I	0,08	3,51	26,11	46,30	13,75	10,25
II	0,09	6,43	25,71	46,77	11,50	9,50
III	0,06	7,88	23,54	47,52	13,00	8,00
IV	0,07	4,15	23,54	52,84	11,40	8,00
V	0,08	6,65	25,16	47,61	12,00	8,50
VI	0,10	7,30	31,25	40,35	13,00	8,00

Verificou-se através dos resultados obtidos para a distribuição granulométrica do RCD reciclado na EMDHAP, Tabela 1, a predominância da fase arenosa (areia fina, média e grossa), com partículas de $0,06 \times 10^{-3}$ a $4,8 \times 10^{-3}$ m de diâmetro, sendo que a somatória dos resultados obtidos para esses diâmetros nos 6 lotes, variou entre 75 e 80%. Sendo assim, a somatória dos teores de argila e silte obtidos nos 6 lotes, variou entre 20 e 25%. Segundo Dorsthorst e Hendriks citados por Angulo et al. (2002), resíduos provenientes de demolição contém maior fração fina (argila e silte) do que fração grosseira. Segundo a NBR 11804, o material com essa distribuição granulométrica é excelente para base e sub-base de pavimentos estabilizados.

A Figura 1 mostra o resultado da variabilidade da distribuição granulométrica dos 6 lotes do RCD reciclado.

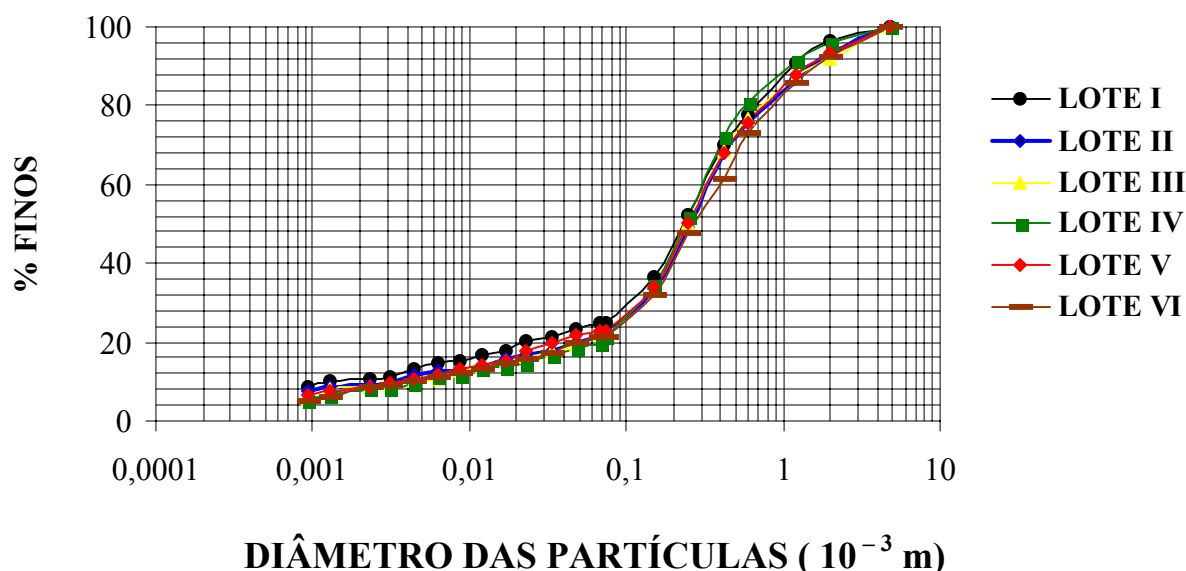


Figura 1 – Curvas de variabilidade do RCD reciclado na EMDHAP.

O RCD reciclado, apesar da sua grande heterogeneidade apresentou na sua granulometria uma baixa variabilidade entre os lotes estudados, conforme o observado na Figura 1. Segundo Angulo et al. (2002) a redução da variabilidade da composição e de outras propriedades pela tendência de média de valores é fundamental para a produção em larga escala.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das médias e os seus respectivos desvios padrão dos ensaios físicos dos 6 lotes de RCD reciclado, observando assim a variabilidade do resíduo.

Tabela 2 – Resultados das médias dos ensaios físicos dos 6 lotes de RCD reciclado.

ENSAIOS	MÉDIA E DESVIO PADRÃO
Limite de Liquidez (%)	21,17 ± 1,34
Limite de Plasticidade (%)	NP
Índice de Plasticidade (%)	NP
□ (g/cm³)	2,699 ± 0,025
Absorção de Água (%)	6,12 ± 0,72
Matéria Orgânica e Sólidos Voláteis (%)	5,00 ± 0,44

NP = não contém plasticidade

□ = massa específica dos grãos

Verificou-se nos resultados dos 6 lotes, que o RCD reciclado apresentou limites de liquidez entre 19 e 23%, não apresentando limite de plasticidade, ou seja, esse material não apresenta característica de plasticidade. Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram a baixa variabilidade neste material para os limites de consistência, ressaltando a qualidade do RCD reciclado para aplicação em obras de pavimentação em larga escala. A NBR 11804 (1991) estabelece, para a execução de sub-base de pavimentos, valores máximos admissíveis para o limite de liquidez que devem ser menores de 25% e para o índice de plasticidades menores que 6%, buscando evitar a perda de suporte de carga ou a expansão excessiva da camada do pavimento. Sendo assim, o RCD reciclado analisado, segundo a NBR 11804 (1991), apresenta características físicas adequadas a este tipo de aplicação.

Os resultados de massa específica dos grãos de RCD reciclado dos 6 lotes, variaram entre 2,675 g/cm³ e 2,740 g/cm³, valores similares, segundo Neville (1997), à massa específica dos agregados que é entre 2,6 g/cm³ e 2,7 g/cm³. Os resultados foram expressos com três casas decimais conforme a sugestão da NBR 6508, mas se for considerar apenas uma casa decimal, a massa específica média dos 6 lotes seria 2,7 g/cm³, sendo que o resultado da média e desvio padrão, contidos na Tabela 2, é de 2,699 ± 0,025 g/cm³, mostrando assim a baixa variabilidade neste material para esse tipo de parâmetro. Segundo Angulo et al. (2002) a massa específica de um agregado é

Recebido em: 17/05/2005	HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.144
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

um dos parâmetros que podem impedir o seu uso e gerar problemas no controle de produção como, por exemplo, variações na massa de blocos de vedação de concreto.

Verificou-se no resultado obtido para a média da absorção de água dos 6 lotes de RCD reciclado apresentado na Tabela 2, que esse material contém alto valor de absorção de água com 6,12 %, quando comparado com agregado natural que tem faixa de absorção de água entre 0,2 e 3,4%, sendo uma das diferenças mais marcantes entre agregado reciclado e agregado natural (CARNEIRO et al., 2001; NEVILLE, 1997). A variabilidade nos resultados de absorção de água dos 6 lotes foram baixas, a não ser o lote IV que apresentou resultado de 4,61%, sendo que o mesmo apresentou coloração mais clara, evidenciando assim uma quantidade menor de produtos cerâmicos na sua composição. Essa propriedade física depende da composição do RCD bruto que gera o agregado reciclado, sendo que, quanto maior a quantidade de material cerâmico, maior é a absorção de água do material.

Segundo Angulo e John (2002), altas porcentagens de absorção de água e grande variabilidade nesse parâmetro, aumenta consideravelmente o consumo de cimento e diminui a resistência mecânica do material, na utilização desse agregado em concreto ou alvenaria.

Verificou-se nos resultados dos 6 lotes do RCD reciclado, que os teores de matéria orgânica e sólidos voláteis apresentaram teores entre 4,40 e 5,50% com média de 5,00%, havendo 1,10% de variação entre o lote de maior teor e o de menor teor e desvio padrão de 0,44. Esta variação de um lote a outro se deve à presença em maior quantidade em alguns lotes de compostos químicos voláteis como: nitrogênio amoniacal, sulfato e carbonatos, onde os lotes III e IV apresentaram forte odor característico de amônia, tendo ligação com os altos teores de materiais voláteis em comparação com outros lotes.

3.2. Propriedades Químicas

Na Tabela 3 são apresentados os resultados analíticos dos extratos digeridos (massa bruta) para os 6 lotes do RCD reciclado e os Valores Máximos Permitidos (VMP) conforme a NBR 10004 (1987).

Tabela 3 – Resultados analíticos dos extratos digeridos (massa bruta)

Resultados analíticos em (mg/kg)			
Lotes	Parâmetros		
	Chumbo	Cromo Total	Vanádio
I	94,90 ± 136,41	7,40 ± 2,401	43,20 ± 1,305
II	10,03 ± 1,997	8,53 ± 3,787	38,30 ± 2,163
III	13,10 ± 221,60	2,03 ± 1,882	62,63 ± 2,829
IV	27,07 ± 72,12	7,20 ± 7,146	42,63 ± 0,503
V	343,47 ± 0,473	17,53 ± 6,215	41,80 ± 1,836
VI	57,17 ± 8,099	12,90 ± 9,440	37,90 ± 1,400
VMP*	1000,0	100,0 (Cr IV**)	1000,0

* **VMP** = Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004 (1987) “Classificação de Resíduos Sólidos” baseado na listagem nº9 ABNT;

** O parâmetro Cromo presente na listagem nº9 é o Cromo VI (hexavalente) e não Cromo Total.

Verificou-se nos resultados da análise química dos extratos de massa bruta dos 6 lotes do RCD reciclado contidos na Tabela 3, que os elementos Pb, Cr e V estão abaixo do VMP pela NBR 10004 (1987). Como o elemento Cr total não ultrapassou o VMP da NBR 10004 (1987) para Cr (VI), conseqüentemente se fosse analisado especificamente o elemento Cr (VI), o mesmo não extrapolaria o VMP especificado na norma. Alguns elementos analisados, mas que não constam na NBR 10004 (1987) como Ca, Mg, Fe e Al, apresentaram valores altos, que podem ser explicados, pois esses são elementos constituintes de materiais contidos na composição do RCD como: cimento, cal livre, cerâmica, rochas, ferragens, etc.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados analíticos dos estratos solubilizados para os 6 lotes do RCD reciclado e os Valores Máximos Permitidos (VMP) conforme a NBR 10004 (1987, 2004).

Tabela 4 – Resultados analíticos dos extratos solubilizados.

Resultados analíticos em (mg/L)					
Lotes	Parâmetros				
	Chumbo	Cromo	Alumínio	Nitrato	Sulfato
I	0,035 ± 0,026	0,020 ± 0,011	0,022 ± 0,009	2,70	254,20
II	0,044 ± 0,038	0,028 ± 0,005	0,080 ± 0,005	2,25	77,66
III	0,028 ± 0,008	0,058 ± 0,015	0,162 ± 0,028	7,50	543,62
IV	0,019 ± 0,019	0,015 ± 0,012	0,042 ± 0,012	17,50	529,50
V	0,073 ± 0,069	0,041 ± 0,008	0,058 ± 0,019	2,90	141,20
VI	0,010 ± 0,010	0,052 ± 0,009	0,345 ± 0,078	2,25	127,08
VMP*	0,010	0,050	0,200	10,00	250,00
VMP*	0,050	0,050	0,200	10,00	400,00

* **VMP** = Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004 (2004) “Resíduos Sólidos – Classificação” baseado no anexo G, ABNT;

** **VMP** = Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004 (1987) “Resíduos Sólidos – Classificação” baseado no anexo H, listagem n.º 8, ABNT.

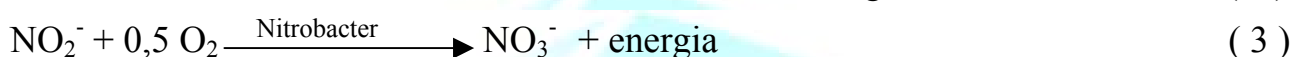
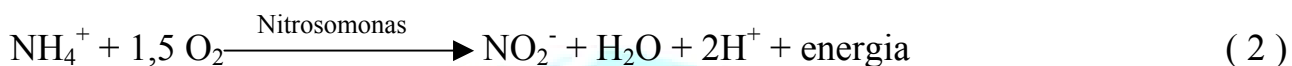
Verificou-se nos resultados das análises químicas de solubilização dos 6 lotes do RCD reciclado, que os elementos e compostos Pb, Cr, Al, Nitrato e Sulfato tiveram valores acima do VMP da NBR 10004 (2004). O elemento Pb ultrapassou o VMP nos lotes I, II, III, IV e V. Esses resultados podem ser explicados pela maior quantidade de RCD de origem de demolição, pois os resíduos de demolição contém tintas, vernizes e outros componentes para acabamentos que foram utilizadas em construções alguns anos atrás. Por sua vez, esses materiais de acabamentos tinham em sua composição altas concentrações de Pb. O elemento Cr ultrapassou o VMP no lote III e VI, e como apresentou valores muito abaixo ao VMP para massa bruta, pode-se explicar os resultados advindos da solubilização, como sendo contaminação antropogênica.

O elemento Al ultrapassou o VMP dos extratos solubilizados no lote VI. Segundo Carneiro et al. (2001), a presença de altos teores de alumínio em RCD, deve-se pela presença de concreto de cimento aluminoso.

Os lotes III e IV apresentaram forte odor característico de amônia, onde a explicação mais convincente para este fato, é a presença do íon NH_4^+ (amônio) que em um ambiente alcalino poderá reagir com o OH^- gerando amônia e água (vapor de amônia), conforme a Equação 1:



O composto nitrato ultrapassou o VMP dos extratos solubilizados somente no lote IV e no lote III o resultado foi alto. Não foi possível encontrar a origem do nitrato, mas segundo Carneiro et al. (2001) na maioria das vezes, o nitrato presente na composição química do RCD é originário de rejeitos sanitários. Podendo ser também originário da ação das bactérias nitrificantes (Nitrosomonas e Nitrobacter) que encontram no RCD um ambiente propício para a transformação de amônio em nitrato, como mostram as Equações 2 e 3:



O ânion sulfato (SO_4^{-2}) ultrapassou o VMP dos extratos solubilizados nos lotes I, III e IV, onde os valores de enxofre (S) e Ca mesmo não constando no anexo G da NBR 10004 (2004) apresentaram-se altos. Segundo Carneiro et al. (2001), a presença de sulfato indica a presença de gesso no material, o que pode provocar fenômenos expansivos em materiais à base de cimento, diminuindo a resistência do concreto e argamassa, entre outros materiais que utilizem o RCD como agregado em mistura com cimento. Os resultados obtidos de dureza total foram altos, mostrando que os 6 lotes de RCD reciclado tem forte presença de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal livre), originário da cal presente.

Verificou-se nos resultados das análises químicas de lixiviação dos 6 lotes do RCD reciclado, que todos elementos e compostos analisados não ultrapassaram o VMP tanto do anexo F da NBR 10004 (2004) quanto do anexo G da NBR 10004 (1987).

Segundo Cetesb (1999) e Oliveira et al. (2001), a utilização do RCD reciclado apresentam grandes conseqüências ambientais negativas, principalmente na liberação de íons lixiviados e solubilizados pertencentes ao concreto do RCD, e que podem contaminar o solo, e os aquíferos, através da acidez da água da chuva e da capacidade de solubilização do resíduo.

4. CONCLUSÃO

As análises e interpretações dos resultados deste trabalho permitiram as seguintes conclusões:

O RCD reciclado na EMDHAP é um material predominantemente arenoso, com partículas finas não plásticas, com massa específica igual de uma partícula de agregado natural. A propriedade física que mais diferencia o agregado de RCD reciclado e o agregado natural é a absorção de água.

Em todas as propriedades físicas houve baixa variabilidade entre os lotes, pois as amostras foram obtidas após a etapa de homogeneização de cada lote, o que minimiza a heterogeneidade original de resíduos provenientes de construção civil,

Recebido em: 17/05/2005	HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.148
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

fato este que melhora a qualidade das propriedades físicas para o uso desse resíduo em blocos de concreto para vedação, base e sub-base de pavimentos.

Quanto às propriedades químicas, o RCD reciclado apresentou grande variabilidade em alguns parâmetros, mostrando assim a necessidade de um melhor estudo sob o ponto de vista da aplicabilidade.

Os resultados obtidos dos parâmetros analisados de lixiviação do RCD reciclado ficaram dentro dos limites especificados pelas NBR 10004 (2004) e NBR 10004 (1987), mostrando que o RCD reciclado não é um resíduo perigoso. Mas, os resultados obtidos dos parâmetros analisados de solubilidade do RCD reciclado apresentaram cinco parâmetros com valores acima do VMP, sendo assim, o resíduo foi classificado como Classe II A – resíduo não inerte, segundo a NBR 10004 (2004) e como Classe II – resíduo não inerte, segundo a NBR 10004 (1987).

Conforme a classificação do resíduo como Classe II A – não inerte, e através dos resultados obtidos nos ensaios de solubilização onde no mesmo extrapolaram alguns parâmetros de metais pesados como, Pb, Cr e Al e alguns compostos químicos como, Sulfato e Nitrato, podendo causar contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Isso comprova que, qualquer que seja o modo de aplicação do RCD reciclado gera riscos ambientais. Apesar dos resultados físicos terem sido favoráveis ao uso, deverão ser realizados ensaios complementares, sistemáticos e freqüentes, de modo a garantir o seu uso seguro em relação ao potencial risco ao meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS

ANGULO, S.C.; JOHN, V.M. Normalização dos Agregados Graúdos de Resíduos de Construção Demolição reciclados para concretos e a variabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002.

ANGULO, S.C.; ULSEN, C.; KAHN, H.; JOHN, V.M. Desenvolvimento de Novos Mercados para a Reciclagem massiva de RCD. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002. p.293-308.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos- Classificação. Rio de Janeiro, 1987. 48p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos-Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

Recebido em: 17/05/2005	HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.149
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Lixiviação de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Solubilização de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11804**: Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulometricamente: especificação. Rio de Janeiro, 1991. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo-Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos - Terminologia. Rio de Janeiro, 1984. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Solo-Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo-Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo-Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7216**: Agregados-Amostragem. Rio de Janeiro, 1982. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9777**: Agregados-Determinação da absorção de água em agregados miúdos: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9941**: Redução de Amostra de Campo e de Agregados para Ensaio de Laboratório. Rio de Janeiro, 1987. 4p.

Recebido em: 17/05/2005	<i>HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.150</i>
Liberado para Publicação em: 18/04/2006	ISSN: 1519-8634

CARNEIRO, A. P. et al. Caracterização do Entulho de Salvador visando a produção de agregado reciclado. In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: ENTAC, 2000.

CARNEIRO, A. P. et al. Caracterização do Entulho e do Agregado Reciclado. In: CASSA, J. C. S. (Org.). **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção**: Projeto Entulho Bom. Salvador: Ed. EDUFBA, 2001. p.142-186.

CAVALCANTI, D. K. C. **Políticas para reciclagem de resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://www.geocities.com/politicaspaparareciclagemderesíduosdaconstruçãocivil.htm>>. Acesso em: 29 dez. 2003.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 1999. Relatório Síntese.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Resol. nº 307, 2002.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. Caracterização dos Resíduos Industriais do Estado de Santa Catarina e as Possibilidades de Valorização na Construção Civil. In: ENCONTRO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela, 1997 p. 81-86.

DORSTHORST, B. J. H.; HENDRIKS, C. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium: Construction and Environment-theory onto practice. São Paulo, 2000. **Proceedings...** São Paulo: EPUSP, 2000.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, D.C., American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 19 ed.1995.

EPA -UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3050-B. **Acid digestion o sediments sludge's and soils**. Washington, 1996.

ICP/AES -UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 6010B. **Inductively coupled plasma - atomic emission spectrometry**, Washington, 1996.

<i>Recebido em: 17/05/2005</i>	<i>HOLOS Environment, v.5 n.2, 2005 - P.151</i>
<i>Liberado para Publicação em: 18/04/2006</i>	<i>ISSN: 1519-8634</i>

LEVY, S. M. **Reciclagem do Entulho da Construção Civil: para utilização como agregados para argamassas e concretos.** 1997. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduos de construção reciclados e de suas aplicações em argamassa e concreto.** São Carlos, 1999. 204f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas.** 2. ed. Belo Horizonte. CRQ, 2003.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. versão atual. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

OLIVEIRA, M. J. E.; MATTOS, J. T.; ASSIS, C. S. Resíduos de concreto: Classe III Versus Classe II. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL-MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4.,2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2001.p.87-95.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999.189f. Tese (Doutorado em Engenharia)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL PIRACICABA. **Resíduos de construção em Piracicaba:** diagnóstico geral. Piracicaba, 2001.

SILVA, M.O.S.A. **Análises físico-químicos para controle de Estações de Tratamento de Esgotos.** São Paulo, CETESB, 1997.