

NORMALIZAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO RECICLADOS PARA CONCRETOS E A VARIABILIDADE

Sérgio C. Angulo (1); Vanderley M. John (2)

(1) Doutorando, M.Eng. – sergio.angulo@poli.usp.br

(2) Dr. Eng., Livre Docente, Prof. Associado – vanderley.john@poli.usp.br

Depto. Eng. Construção Civil, Escola Politécnica da USP – PCC/USP

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a adequação às condições brasileiras das especificações internacionais e das especificações de uma pesquisador brasileiro (LIMA, 1999) de agregados graúdos produzidos pela reciclagem de resíduos de construção e demolição para o uso em concretos. Na pesquisa foram caracterizados amostras de agregados provenientes da Central de Reciclagem de Santo André no estado de São Paulo. A metodologia de caracterização dos agregados é apresentada e os resultados obtidos nas amostras são discutidos. Nenhum dos 36 lotes de agregados apresentavam potencial para serem utilizados na produção de concreto estrutural segundo comparação entre os resultados das amostras e os critérios da normalização. No entanto, em torno de 50% dos lotes potencialmente poderiam ser utilizados em concretos sem função estrutural. Conclui-se que é necessário realizar melhorias no processo de produção de agregados de forma a permitir uma reciclagem massiva seja em concretos estruturais ou não estruturais.

Palavras-chave: reciclagem, resíduo de construção e demolição , variabilidade, desenvolvimento sustentável, normalização.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é, certamente, a maior consumidora de recursos naturais de qualquer economia (JOHN, 2000). É também a maior geradora de resíduos em massa dentro da malha urbana. Em razão da falta de políticas adequada, boa parte destes resíduos é disposta irregularmente, impedindo ruas e obstruindo córregos. A limpeza desses resíduos depositados irregularmente custa aos municípios um significativo volume de recursos (PINTO, 1999) que poderiam estar sendo direcionados para a criação de melhor infraestrutura para a população em geral. Assim, a reciclagem de resíduos de construção e demolição é uma ferramenta importante no aumento da sustentabilidade da construção civil, contribuindo para a diminuição da extração de matérias primas naturais, para a manutenção de um ambiente urbano saudável, melhoria das finanças públicas e também com a geração de emprego.

Hoje, no Brasil apenas algumas municipalidades possuem políticas adequadas para os RCD e praticam reciclagem destes resíduos, empregando os agregados gerados como base de pavimentação. Em muitos canteiros existem argamassadeiras capazes de gerar uma argamassa reciclada deste tipo de resíduo (MIRANDA, 2000). Outros países já utilizam agregados de RCD reciclados também em aplicações mais nobres que a aplicação em bases de pavimentação como por exemplo em concretos (LIMA, 1999; HANSEN, 1992). Dentre os países destacam-se Japão, Inglaterra e Holanda . Esses países têm buscado a consolidação do seu processo de reciclagem diversificando suas aplicações em componentes, tanto pela substituição parcial quanto pela substituição total dos agregados naturais pelos obtidos pela reciclagem de RCD.

No Brasil, as centrais de reciclagem brasileiras são públicas, pertencentes aos municípios. A quase totalidade do agregado produzido pela reciclagem de RCD é utilizada como base de pavimentação, apesar de outras utilizações incipientes como blocos de concreto para pavimentação e vedação. A reciclagem dos RCD como agregados para base de pavimentação é um grande avanço, especialmente

porque no Brasil mesmo em grandes cidades uma parcela das ruas não é pavimentada. No entanto, dados de PINTO (1999) mostram que o consumo de agregados pelas Prefeituras pode atingir cerca de 45% da massa total de RCD gerada na malha urbana. Assim, uma reciclagem de mais de 45% do total dos RCD gerados somente seria viável se novos mercados fossem viabilizados. A abertura de novos mercados é também uma condição para o surgimento de centrais de reciclagem privadas, pois os órgãos públicos são virtualmente os únicos consumidores de agregado para base de pavimentação. Esta dependência de um consumidor único, sujeito a inconstâncias políticas, certamente eleva significativamente o risco de negócios privados nesta área.

A quase totalidade de trabalhos sobre emprego de agregados obtidos por reciclagem de RCD se dedica a investigar os limites da reciclagem de agregados para a produção de novos concretos, admitindo-se teores limitados de outras fases¹ (HANSEN, 1992; BARRA, 1997; QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999; MORALES; ÂNGULO, 2000; LEVY; HELENE, 2001; BRITO *et al.*, 2001; FONSECA SILVA *et al.*, 2001).

Na realidade européia parte significativa do resíduo provém de estradas e de demolições de edifícios com estruturas de concreto em quantidade significativa, na maioria das vezes com divisórias leves de fácil separação ou processos de demolição seletiva (ÂNGULO, 2000), facilitando a obtenção de agregados de concreto com baixo teor de contaminação ou de outras fases. No Brasil, resíduos de construção podem chegar a 50% do total do resíduo (PINTO, 1999) ou mais e os resíduos de demolição apresentam também grandes teores de alvenaria. A quantidade de material cerâmico é significativa (**Tabela 1**).

As centrais de reciclagem brasileiras são plantas simples se comparadas com as centrais do exterior, possuindo apenas alimentador, britagem, transportador de correia e eletroímã para coleta de metais ferrosos. A remoção de contaminantes, como madeiras, plásticos e metais não ferrosos, é feita manualmente, tanto antes como após a britagem. Em um mercado incipiente como o brasileiro, dificilmente sistemas sofisticados de separação, seja de contaminantes ou de outras fases, seriam viáveis economicamente em um primeiro momento (PENG *et al.*, 1997; JUNGMANN; QUINDT, 1999; TOMAS *et al.*, 1999; ANCIA *et al.*, 1999). E mesmo que eles sejam implementados, seria necessário encontrar empregos para as frações rejeitadas que podem chegar a 5% em massa conforme ÂNGULO (2000).

Tabela 1 – Composições médias de RCD em algumas centrais de reciclagem brasileiras.

Composição (%)	São Paulo BRITO (1999)	Salvador CARNEIRO <i>et al.</i> (2001)	Ribeirão Preto ZORDAN (1997)		
			Min	Med	Max
Concretos	8	53	20	21	22
Argamassas	24		35	37	39
Materiais cerâmicos	33	15	16	23	30
Solos	30	21			
Materiais orgânicos	1	4			
Outros	4	7	10	19	28

No entanto, considerando-se que as fases minerais são predominantes nos RCD brasileiros e internacionais (PINTO, 1999; BRITO, 1999; ÂNGULO, 2000, CARNEIRO *et al.*, 2001; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000; LEVY, 1997) e que contaminantes (madeiras, plásticos e metais) são de separação relativamente fácil em razão de propriedades densitárias e magnéticas, é certamente viável a reciclagem destes resíduos na produção de artefatos de concreto e argamassas (ZORDAN, 1997; MIRANDA, 2000).

Como porém pode ser intuitivamente percebido e já foi demonstrado por ZORDAN (1997) e MIRANDA (2000), o desempenho de agregados obtidos pela reciclagem de RCD vai depender da sua composição. Em qualquer central de reciclagem esta composição não é constante, pois ela vai depender da matéria prima ofertada. Assim, um entendimento de como esta composição vai variar e os

¹ Outras fases são fases presentes que não contaminantes e nem a fase principal do agregado reciclado em questão como cerâmica e argamassa por exemplo.

efeitos desta variabilidade no desempenho final dos componentes a serem produzidos e na produção em larga escala é fundamental.

Muitos estudos como CARNEIRO *et al.*, (2001); BRITO (1999); PINTO (1999); HARDER; FREEMAN (1997); XAVIER; ROCHA (2001) apresentam composições médias dos RCD, mas na maioria dos casos não discutem a variabilidade dos mesmos. Tal variabilidade foi investigada, até o momento, em dois estudos brasileiros (ZORDAN, 1997; ÂNGULO, 2000).

Este trabalho pretende, a partir de amostras de agregados graúdos recolhidos em uma central de reciclagem, estimar a variabilidade na composição e cotejar as características dos agregados resultantes com o de especificações para agregados de RCD de alguns países.

2 ESPECIFICAÇÕES DE AGREGADOS DE RCD

A **Tabela 2** sintetiza as principais especificações de agregados graúdos de RCD reciclados para concretos (LIMA ,1999; RILEM RECOMMENDATION, 1994; HANSEN, 1992; HENDRIKS, 1997). A proposta realizada por LIMA (1999) não está baseada diretamente em projeto experimental, mas apenas em uma combinação da experiência do pesquisador com os requisitos da bibliografia internacional. As recomendações da RILEM é predominantemente desenvolvida a partir de estudos realizados com agregados produzidos em laboratório e não obtidos de condições reais de reciclagem.

Todas as especificações partem de uma classificação em função da origem do resíduo: estruturas demolidas de concreto ou alvenarias. Entretanto, só a especificação holandesa pede que se quantifique a fase principal na composição. Algumas especificações como a holandesa, a japonesa e a proposta de LIMA (1999) limitam a presença de determinadas fases, como de argamassas e de cerâmicas. Porém somente a holandesa e a japonesa especificam um método para tal quantificação. O método de quantificação das fases da norma holandesa prescreve a separação por análise visual dos grãos retidos em peneira abertura de malha 8 mm. Já a norma japonesa prescreve a separação pela densidade, utilizando-se líquidos densos.

Embora não incluído na **Tabela 2**, a granulometria também é um requisito de qualidade adotado algumas vezes como, por exemplo, pelos holandeses.

Destaca-se que a recomendação da RILEM não fixa um ensaio de reação álcali-agregado devendo obedecer às regulamentações nacionais de cada país. As recomendações da RILEM e da Holanda também sugerem diferentes métodos de ensaios de sulfatos.

Tabela 2 - Especificações de agregados graúdos de RCD reciclados para concreto.

Exigências	Japão	Holanda		RILEM		LIMA (1999)	
Natureza do agregado	Concreto	Concreto	Alvenaria ²	Concreto	Alvenaria	Concreto	Alvenaria
Max fck (MPa)	18	nd	nd	50 a 60	16 a 20	16	12
Condições de Exposição			Pouca umidade	Classes de exposição (ENV 206)		Sem presença de umidade	
				2, 3 e 4	1		
Aplicação	fundações edifícios comerciais térreos	Sem restrição		Sem restrição		Contrapiso bases vergas blocos	Contrapiso bases vergas blocos
Massa Esp. > (kg/m ³)	2.200	2.100	nd	2.000	1.500	nd	nd
Absorção < (% em massa)	7	nd	nd	10	20	7	12
passante # 0,075 mm < (% em massa)	1	0,1	2	2	3	nd	nd
Teores de fases < (em massa)	10 kg/m ³ ou 0,77% ⁴ argamassa e revestimento. (d <1,95 kg/dm ³)	5% de outras	Argamassa (25%) cerâmica (20%) ³	10% d< 2,2 kg/dm ³ . 1 de outras	10% d<1,8 kg/dm ³	argamassa (10%) cerâmica (5%)	argamassa (50%) cerâmica (50%)
Max de ¹ contaminantes (em massa)	2 kg/m ³ ou 1% ⁴	1% betume 0,5 % outros	1	1	5	1 solo (5%)	1 solo (5%)
Teor de sulfatos (% em massa)			1 (NEN 5930)	1 (BS 812)	1 (BS812)		
Expansão por reação álcali-agregado				Regulam. nacionais	Regulam. nacionais		
Outros			Cloretos (NEN 5921)	“deicing salt test”			

¹ Contaminantes são materiais betuminosos, madeira, vidro e outros que não fases como concretos, argamassas e cerâmicas.

² É possível que se trate de alvenaria com blocos de concreto.

³ Uma razão para a limitação pode ser ciclos de gelo-degelo em materiais cerâmicos conforme contato pessoal com o pesquisador Johan Put da Universidade de Delft, Holanda.

⁴ Cálculo realizado considerando-se a massa unitária dos agregados graúdos de RCD reciclados como 1.300 kg/m³.

3 METODOLOGIA

O estudo experimental pode ser dividido em duas etapas: a) coleta das amostras de agregados graúdos de RCD reciclados e b) caracterização desses agregados quanto ao teor de materiais pulverulentos, granulometria, composição, absorção de água e massa específica. Nesta primeira etapa não foram incluídas as análises químicas propostas pela normalização analisada.

As amostras de agregados de RCD reciclados foram coletadas de uma central de reciclagem piloto no município de Santo André, no estado de São Paulo, que recebia na época um volume de 4m³ de RCD/dia. Este volume foi reduzido a 10% em volume e coletado segundo procedimentos expostos na NBR 7216 – Amostragem de agregados e NBR 10007 – Amostragem de resíduos. Desta forma, as amostras foram consideradas representativas dos lotes dos agregados. O procedimento pode ser resumido nos seguintes passos:

- homogeneização de todo o lote com enxada;

- retirada dos agregados com pá, em mais de 7 pontos para cada lata de 18 litros, alternados de um lado para outro diagonalmente, de forma aleatória, desde a crista até a base, em seqüência não repetitiva;
- retirada de 4 latas de 18 litros horárias para formação da amostra;
- repetição desse procedimento durante três horas diárias e coleta de amostras de 12 dias.

Com as três horas diárias, totalizaram-se 36 amostras de agregados graúdos. A central possuía alimentador, britador de impacto, transportador de correia e uma peneira de abertura de malha de 12,5 mm. A fração graúda do estudo foi peneirada em seguida e ela foi representada neste estudo pelo intervalo das peneiras de abertura de malha 12,5 mm e 4,8 mm.

O fluxograma demonstra as caracterizações realizadas e métodos empregados nos agregados graúdos de RCD reciclados (**Figura 1**). Os ensaios de absorção de água e massa específica foram realizados para cada fase ao invés da composição com um todo.

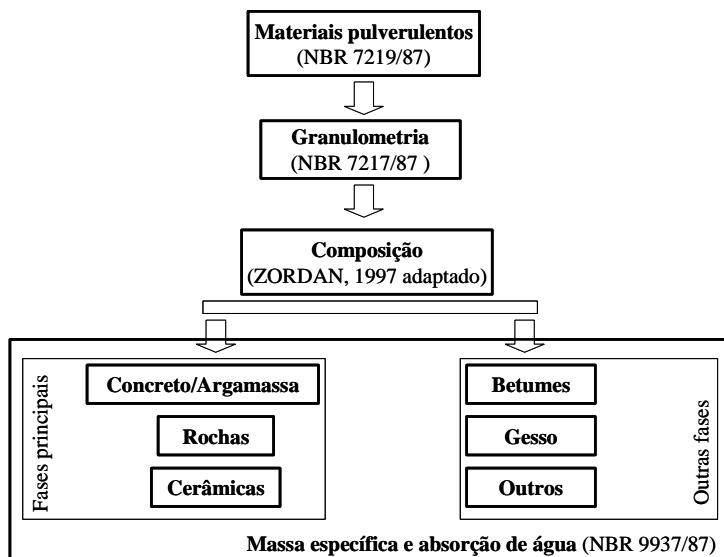


Figura 1 – Caracterizações realizadas nos agregados graúdos de RCD reciclados.

O ensaio de composição consistia em separar fases por observação visual dos grãos e expressar o resultado de cada fase em percentual. A porcentagem era obtida em relação à massa, sendo a massa total igual a 100%. As fases definidas no estudo foram:

- a) concreto/argamassa: toda fase que contenha material aglutinante (cimento, cal) com a presença de areia ou brita na maior parte do grão;
- b) rochas: toda fase que contenha fragmentos de rochas naturais na maior parte do grão;
- c) cerâmica: toda fase que contenha material cerâmico, com superfície polida ou não na maior parte do grão;
- d) materiais betuminosos: toda fase que contenha material betuminoso na maior parte do grão e outros: toda fase que não se ajuste às classificações anteriores.

Em seguida, a fase concreto/argamassa foi separada com o uso das propriedades absorção de água e massa específica. Empregou-se um sistema com duas equações, adotando como coeficientes os valores médios das fases para as propriedades. Os resultados do sistema de equações indicam os percentuais em massa das fases (ANGULO, 2000).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A **Figura 3** mostra as curvas granulométricas limites das amostras que definem a variação das curvas de todas as amostras. As amostras dos agregados possuem granulometria fora dos intervalos permitidos pela especificação holandesa de agregados graúdos de natureza predominante de concretos. Técnicas de controle granulométrico na Central de Reciclagem seriam indispensáveis pois tal

variabilidade afetaria o consumo de cimento dos concretos podendo inviabilizar economicamente a produção.

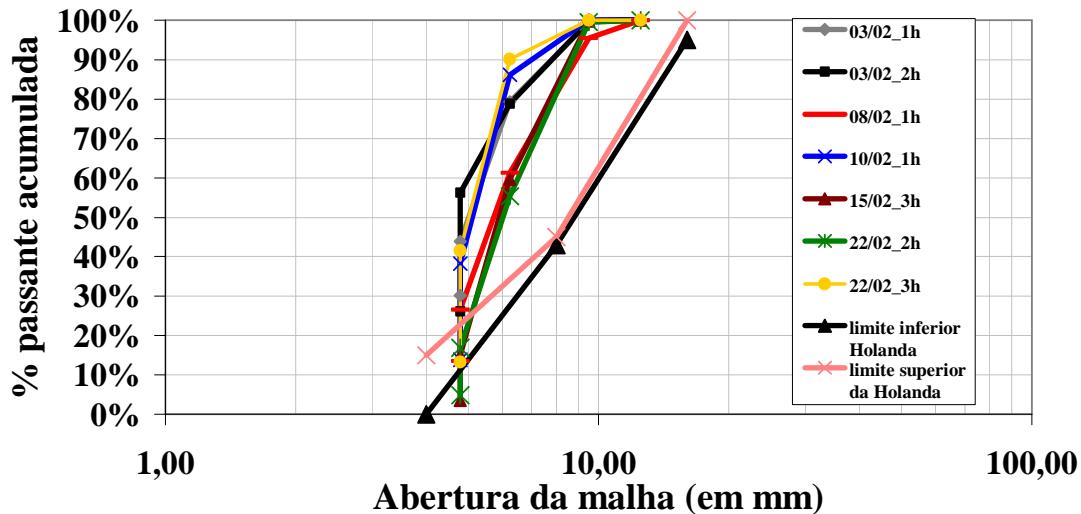


Figura 3 – Curvas granulométricas limites das amostras e limites holandês para agregados com natureza predominante de concretos.

A **Figura 4** mostra os resultados de teor de contaminantes.

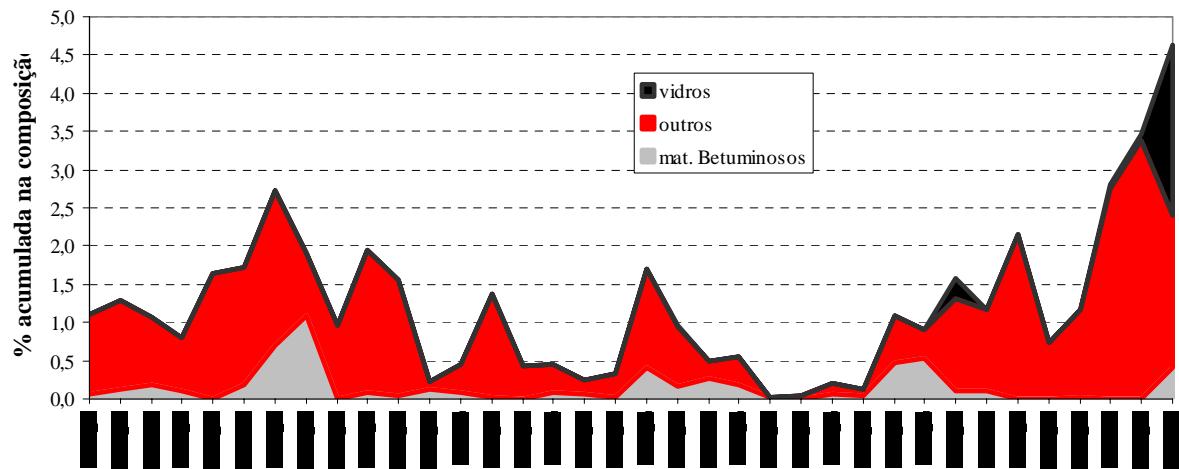


Figura 4 – Contaminantes dos agregados graúdos de RCD reciclados, em porcentagem acumulada.

A **Tabela 3** mostra os resultados dos ensaios de composição, absorção de água, massa específica e teor de materiais pulverulentos, bem como as médias, desvios-padrões e os coeficientes de variação. Os agregados serão confrontados com os limites de especificações propostos considerando-se a natureza predominante de concreto e de alvenaria (**Tabela 2**).

Tabela 3 – Resultados dos ensaios nas amostras analisadas.

Amostras	Composição (%)				Abs. Água (%)	Massa Esp. (kg/dm ³)	Mat. Pulv. (%)
	Concretos	Argamassas	Rochas	Cerâmicas			
1	25,07	61,38	9,41	3,04	11,28	1,98	7,36
2	47,70	47,70	3,09	0,22	8,95	1,98	3,02
3	45,57	43,79	3,40	6,17	9,24	1,95	3,95
4	39,48	36,45	20,77	2,49	7,53	2,13	1,63
5	39,74	44,81	11,15	2,66	8,96	2,06	2,27
6	54,36	33,32	6,63	3,96	7,97	2,08	4,21
7	45,87	28,12	21,12	2,17	6,48	2,17	0,76
8	34,10	40,04	22,33	1,62	7,98	2,15	0,32
9	41,64	34,07	17,85	5,48	7,25	2,14	1,00
10	48,25	29,58	12,43	7,79	7,19	2,16	2,11
11	27,54	38,02	22,96	9,93	8,91	2,15	1,06
12	52,50	24,71	22,25	0,31	6,12	2,22	0,04
13	43,96	31,84	23,01	0,64	6,93	2,21	2,67
14	36,20	44,24	8,63	9,55	9,57	2,00	1,16
15	57,10	10,08	30,39	2,02	3,92	2,39	1,26
16	32,47	16,72	50,26	0,10	4,52	2,37	0,14
17	31,61	25,86	28,43	13,86	7,91	2,17	2,70
18	48,53	28,50	12,83	9,81	7,96	2,14	2,69
19	40,02	31,45	25,06	1,73	6,97	2,22	1,66
20	45,83	22,57	28,62	2,03	5,71	2,26	2,84
21	47,73	21,44	24,50	5,84	6,44	2,27	0,00
22	51,19	27,57	20,00	0,68	6,37	2,23	0,37
23	48,69	13,73	36,78	0,77	4,62	2,31	0,25
24	61,90	13,59	24,01	0,47	4,58	2,32	0,20
25	55,39	20,49	23,34	0,58	5,26	2,27	0,98
26	44,20	22,77	32,66	0,24	5,53	2,29	1,02
27	44,66	20,06	33,72	0,48	4,97	2,32	0,86
28	50,13	24,69	23,95	0,33	5,85	2,26	1,43
29	44,27	21,81	30,81	1,53	5,32	2,29	1,64
30	55,00	19,32	20,72	3,80	5,83	2,27	1,11
31	32,76	24,72	30,13	10,24	6,46	2,21	0,85
32	22,81	27,87	44,28	4,30	6,96	2,25	0,80
33	33,69	13,76	48,94	2,43	4,36	2,39	3,53
34	47,88	21,51	21,36	6,44	6,64	2,19	2,70
35	50,44	21,62	19,19	5,30	6,57	2,20	1,40
36	46,68	26,26	11,32	11,11	7,75	2,10	1,22
Media	43,75	28,18	22,95	3,89	6,80	2,20	1,69
D.P.	9,24	10,99	11,34	3,76	1,67	0,11	1,49
CV (%)	21,12	39,00	49,41	96,53	25,00	5,00	87,73

A **Tabela 4** ilustra as conformidades obtidas segundo as especificações apresentadas na **Tabela 2**. Percebe-se que sem algum tipo de controle ou seleção para o RCD analisado desta Central, seria impossível produzir concretos considerando os agregados reciclados como de natureza predominante de concreto, sejam eles estruturais (Holanda, Japão e Europa) ou não (de LIMA, 1999), em razão da presença de altos teores de argamassa.

As recomendações holandesa e de LIMA (1999) permitem o emprego dos agregados em concretos não estruturais de 28% e 47% dos lotes caracterizados respectivamente, quando classificados como predominantemente de alvenaria. Tal avaliação não pode ser feita para a recomendação da RILEM, pois neste estudo não foi determinada a quantidade de material com massa específica inferior a 1,8 kg/dm³.

Tabela 4 – Conformidade ou não em função dos limites propostos, exceto contaminantes.

Não conforme	Conforme (quesito)	Conf. (todo quesito)	Conf.(todos quesitos)
--------------	--------------------	----------------------	-----------------------

Fçao	Estrutural								Não estrutural																			
	Concretos								Alvenarias																			
Nat	Japão				Holanda				RILEM				LIMA (1999)				Holanda				RILEM				LIMA (1999)			
	Re	A C	a	m P	C	A C	a	m P	C	A C	a	m P	C	A C	a	m P	C	A C	a	m P	C	A C	a	m P	C			
1																												
2																												
3																												
4																												
5																												
6																												
7																												
8																												
9																												
10																												
11																												
12																												
13																												
14																												
15																												
16																												
17																												
18																												
19																												
20																												
21																												
22																												
23																												
24																												
25																												
26																												
27																												
28																												
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												

AC significa teor de argamassa (A) e teor de cerâmica (C) (% em massa).

a significa absorção de água (% em massa).

m significa massa específica (% em massa).

P significa teor de materiais pulverulentos (% em massa).

C significa contaminantes (% em massa)

Os valores de massa específica e absorção de água foram calculados pela média ponderada das fases.

? Inconclusivo.

A metodologia de separação de fases por inspeção visual é demorada e imprecisa (dificuldade na separação entre concreto e argamassa), exigindo até 8 horas de trabalho para uma amostra de 5 kg de

material. Tal técnica de caracterização para o estudo da composição não poderia também ser utilizada como uma ferramenta de suporte a decisão para classificação dos agregados produzidos em uma central de reciclagem.

A fase cerâmica apresentou grande variabilidade de massa específica (**Figura 5**) e absorção de água. Tais variações para a fase cerâmica dificultam uma reciclagem em larga escala, uma vez que tanto o consumo de cimento quanto as propriedades do estado fresco de concretos seriam afetadas dada a variabilidade na propriedade absorção de água, intimamente relacionada com massa específica. Os valores de massa específica nas amostras para cada fase principal (**Figura 5**) apresentam pouca sobreposição de valores, indicando a possibilidade de aplicação de separação por líquidos densos para a identificação de fases. Dentro de certos valores limites, existe a possibilidade de aplicação de processos industriais de jigagem para a separação de fases. A aplicação de líquidos densos pode agilizar a caracterização, além de possivelmente permitir a separação entre as fases concreto e argamassa.

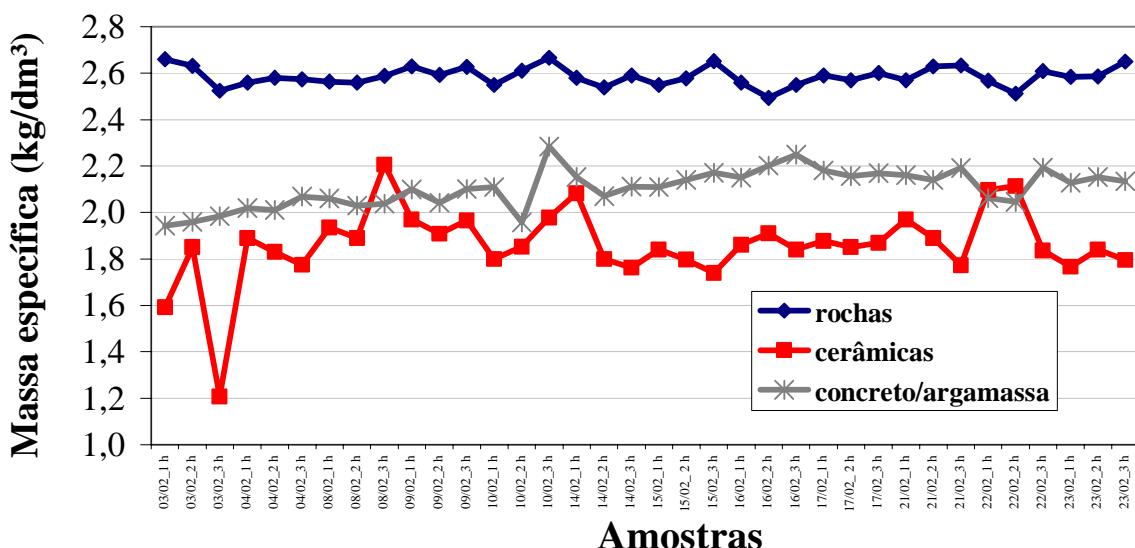


Figura 5 – Massa específica para as fases principais nas amostras dos agregados graúdos de RCD reciclados.

A recomendação holandesa, só fixa o valor de massa específica e não impõe restrição a absorção de água. Porém, destaca-se que tal tipo de especificação não seria suficiente para uma especificação brasileira, uma vez que na fase cerâmica, a amostra com maior valor de absorção de água não corresponde a amostra de menor valor de massa específica. Tal regra tem apenas validade para as fases concreto e argamassa conforme dados apresentados em ANGULO (2000), com possível inserção da fase rochas caso necessário.

A especificação relativa à composição para os agregados de natureza predominante de concreto, e destinado a produção de concreto estrutural, rejeitou todas as amostras em razão da presença de outras fases, embora mais de 50% das amostras poderiam ser aceitas em relação às especificações de absorção de água e massa específica.

Destaca-se que LIMA (1999) não define valores máximos para o teor de materiais pulverulentos. Esta decisão é discutível dada a conhecida interferência deste parâmetro no consumo de água e trabalhabilidade de concretos. Além do mais está demonstrado que a fração fina pode conter teores mais elevados de outros contaminantes como metais pesados e compostos orgânicos (SCHULTMANN *et al.*, 1997).

Caso os agregados sejam considerados com natureza predominante de concreto, a especificação da RILEM permite o uso de mais de 50% dos lotes em relação ao teor limite de materiais pulverulentos, inclusive estruturais. A rejeição de mais de 90% dos lotes por parte da recomendação holandesa pode ser em razão da presença mais significativa de contaminantes na fração fina dos RCD. Tais contaminantes podem afetar seriamente a durabilidade dos concretos (presença de álcalis, sulfatos e sílica amorfa). Caso os agregados sejam classificados com natureza predominante de alvenaria, a especificação da RILEM e holandesa impedem o emprego em torno de 10% dos lotes.

Todas as especificações consultadas limitam o teor de contaminantes a um máximo de 1% nos agregados reciclados com natureza predominante de concreto. Cerca de 50% dos lotes atenderiam a este critério específico. No entanto, segundo o critério da RILEM para agregados predominantemente de alvenaria, a totalidade das amostras poderia ser utilizada para concretos não estruturais, pois neste caso o teor máximo de contaminantes previstos é de 5%. LIMA (1999) estabelece para a mesma aplicação um teor máximo de contaminantes de 1%. Assim, embora os critérios deste autor analisados na Tabela 4 (teor de argamassa, absorção de água e massa específica) tenham permitido aceitar 90% dos lotes, o critério de máximo de contaminante resultou em aceitação de 50% dos lotes.

Deve ser destacado que foi observado em um lote um teor de vidro acima de 1,5% e está provado que o vidro verde e transparente podem causar reações álcali-agregado (MEYER *et al.*, 1997; HANSEN, 1992). Assim, parece questionável que seja estabelecido apenas um de teor máximo total de contaminantes (até 5% de acordo com a RILEM) sem limitar de alguma forma o teor de vidro.

CONCLUSÕES

Os resultados analisados mostram que, se adotadas as especificações RILEM, Japão, Holanda e Lima (1999) e mantidas as características atuais da central de reciclagem analisada, nenhum dos lotes de agregados de RCD produzidos poderiam ser utilizados em concretos com função estrutural. Os problemas encontrados se relacionam a teor de argamassa, contaminantes, materiais pulverulentos, e absorção e massa específica. Provavelmente este tipo de limitação será observado em outras centrais de reciclagem brasileiras, posto que os escassos dados publicados indicam uma participação da fração alvenaria (cerâmica e argamassas) superior a 50% da massa total.

Em torno de 50% dos analisados poderiam, no entanto, ser utilizados em concretos sem função estrutural, de acordo com as especificações de LIMA (1999) e um pouco menos de acordo com a especificação holandesa. Entretanto, destaca-se que a valorização é menor na aplicação em concretos sem função estrutural e a variabilidade existente pode ainda continuar impedindo produções em larga escala sendo necessário técnicas adequadas de homogeneização para evitar o alto consumo de cimento.

Conseqüentemente, a ênfase internacional em reciclagem de RCD como agregado para concreto não parece ser a mais adequada à realidade nacional, especialmente se adotados os critérios semelhantes aos propostos na normalização internacional. Assim, além de uma revisão crítica da normalização internacional sobre o tema, outras alternativas de reciclagem destes resíduos devem ser desenvolvidas.

A metodologia de avaliação da composição por inspeção visual é bastante rudimentar. Neste trabalho foi difícil diferenciar as fases concreto e argamassa. O método foi considerado impreciso e também demorado. Para qualquer processo de reciclagem com escala comercial que vise outro mercado que não o de base de pavimentação, será fundamental que estejam disponíveis mecanismos rápidos e confiáveis para a caracterização dos lotes produzidos, de forma a certificar a qualidade e classificar de acordo com a potencialidade de uso. Outros temas interessantes para investigação futura estão relacionados com a tecnologia de processamento mineral, incluindo estudo de técnicas para controles de contaminantes, execução de pilhas de homogeneização, adoção de sistemas de classificação/caracterização, etc.

AGRADECIMENTOS

FINEP – Habitare – projeto Reciclagem de Resíduos como material de Construção Civil.

Prefeitura de Santo André – São Paulo.

CAPES.

Maurício Cruz Dainezi – bolsista Iniciação Científica.

Fabiana da Rocha Cleto – bolsista Iniciação Científica.

Prof. Dr. Henrique Kahn – Engenharia de Minas – Escola Politécnica – USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCIA, P. *et al.* The use of mineral processing techniques for the improvement of the building rubble characteristics. In: Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology. San Sebastian, 1999. Proceedings. Espanha, 1999. p.583-597.
- ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BARRA, M. Dosagem de concretos com agregados reciclados. In: Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para a proteção ambiental. São Paulo, 1997. Anais. São Paulo, PCC/USP, 1997. p.39-43.
- BRITO, J.A. Cidade versus entulho. In: Seminário De Desenvolvimento Sustentável E A Reciclagem Na Construção Civil, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 1999. p.56-67.
- BRITO, L.A *et al.* Utilização de entulho de construção civil como agregado graúdo, para a confecção de novos concretos. In: IV Seminário De Desenvolvimento Sustentável E A Reciclagem Na Construção Civil, 2., São Paulo, 2001. Anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 2001p.23-36.
- CARNEIRO, A.P. *et al.* **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador. Ed. EDUFBA. 2001. 312 p.
- DORSTHORST, B.J.H; HENDRIKS, C. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice. São Paulo, 2000. Proceedings. São Paulo, EPUSP, 2000.
- FONSECA SILVA, E. *et al.* Estudo de viabilidade sobre a substituição de agregados naturais por agregados provenientes da reciclagem de entulho de concreto. In: IV Seminário De Desenvolvimento Sustentável E A Reciclagem Na Construção Civil, 2., São Paulo, 2001. Anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 2001p.23-36.
- HANSEN, T.C. **RILEM Report 6 - Recycling of Demolished Concrete and Mansory**. London, E& FN SPON na imprint of Chapman & Hall. 1992. 305p.
- HARDER, M.K.; FREEMAN, L.A. Analysis of the volume and composition of construction waste arriving at landfill. In: Second International Conference Buildings And The Environment. Paris, 1997. Proceedings. Paris, 1997. p.595-602.
- HENDRIKS, C.F. Application of aggregates out of construction and demolition waste in road constructions and concrete. In: International Conference Buildings And The Environment, 2., Paris, 1997. Proceedings. Paris, 1997. p.211-22.
- JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- JUNGMANN, A.; QUINDT, J. alljig – technology for separation of building rubble and other secondary raw materials. In: Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology. San Sebastian, 1999. Proceedings. Espanha, 1999. p.367-379.
- LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- LEVY, S.M; HELENE, P.R.L. Agregados reciclados de alvenaria e de concreto, contribuem ou não para a melhoria da durabilidade dos novos concretos?. In: IV Seminário De Desenvolvimento Sustentável E A Reciclagem Na Construção Civil, 2., São Paulo, 2001. Anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 2001p.23-36.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** São Carlos, 1999. 204p. Dissertação (Mestrado). EESC, Universidade de São Paulo.

MEYER, C.;BAXTER, S.;JIN,W. Glascrete – Concrete with crushed waste glass aggregate. In: International Conference on Engineering Materials. Canadá, 1997. **Proceedings.** Canadá, 1997. p.735-41.

MIRANDA, L.F.R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** São Paulo, 2000. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MORALES, G.; ÂNGULO, S.C. Produção de concreto de cimento portland utilizando entulho de obra reciclado. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 7. Salvador, 2000. **Anais.** Salvador, ANTAC, 2000.

PENG *et al.* Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. **Construction, Management and Economics.** n.15, p.49-58, 1997.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

QUEBAUD, M.R.; BUYLE-BODIN,F. A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto. In: Congresso Brasileiro De Cimento(CBC), 5. São Paulo, 1999. **Anais.** São Paulo, 1999. 14p.

RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures.** n.27, p.557-9, 1994.

SCHULTMANN, F. *et al.* Strategies for quality improvement of recycling materials. In: International Conference Buildings and The Environment, 2. Paris, 1997. **Proceedings.** Paris, 1997. p.611-18.

TOMAS, J. *et al.* Liberation and separation of valuables from building material waste. In: Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology. San Sebastian, 1999. **Proceedings.** Espanha, 1999. p.461-471.

XAVIER, L.C.; ROCHA, J.C. Diagnóstico do resíduo da construção civil – início do caminho para uso potencial do entulho. In: IV Seminário De Desenvolvimento Sustentável E A Reciclagem Na Construção Civil, 2., São Paulo, 2001. **Anais.** São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 2001. p. 44-57.

ZORDAN, S.E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** Campinas. 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.