Caracterização da fração mineral dos resíduos da construção civil de Poços de Caldas-MG, visando o beneficiamento para reúso ou reciclagem.

FERREIRA, R. F. F.[1], BERGERMAN, M. G.[2], BARBI, E. M.[3], SWERTS, J. P.[4], GARCIA, R. L.[5], MOTTA, R.[6]
[1]Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas. rogeriofrancys@hotmail.com
[2]Universidade de São Paulo – Campus São Paulo. mbergerman@gmail.com
[3]Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas. erikamatiasbarbi@gmail.com
[4]Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas. jefersonps21@hotmail.com
[5]Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas. rogerio_garcia@hotmail.com
[6]Universidade de São Paulo – Campus São Paulo. rosangela.motta@usp.br

RESUMO

Os resíduos de construção civil e demolição (RCD) são materiais descartados em grandes proporções ao redor do mundo, muitas vezes sem o devido tratamento e triagem. No entanto, esses materiais apresentam potenciais aplicações quando reutilizados ou reciclados. Os agregados graúdos reciclados provenientes destes materiais podem ser aplicados para utilização em pavimentação ou concreto sem função estrutural, quando em conformidade com normas específicas. Visando a definição de uma rota de beneficiamento de RCDs, foram coletadas amostras em um determinado aterro da cidade, objetivando realizar a caracterização da fração mineral e o estudo e comparação dos resultados obtidos com os requisitos estabelecidos em normas para a aplicação destes materiais em base de pavimentação ou concreto sem função estrutural. Os ensaios realizados permitiram concluir que os agregados graúdos dos resíduos de construção civil do município de Poços de Caldas apresentam potencial para aplicação em pavimentação ou concreto sem função estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos de construção civil; reciclagem; caracterização.

ABSTRACT

Construction and Demolition Waste (CDW) materials are discarded daily in major worldwide, often without proper screening and treatment, however, they have potential applications when reused or recycled. Recycled coarse aggregates can be applied for use in paving or concrete without structural function, when in accordance with specifications. Addressing the definition of a processing route at Poços de Caldas-MG, samples were collected in a particular city landfill, aiming to characterize the mineral fraction, as well as to study and compare the results with the requirements in standards for the application as a pavement base material or concrete without structural function. Tests showed that CDW from the city of Poços de Caldas has potential for those applications.

KEYWORDS: construction and demolition waste; recycling; characterization

1. INTRODUÇÃO

A busca por modelos de desenvolvimento sustentável se tornou uma das maiores preocupações da população mundial desde o fim do século XX. Com o passar das décadas, ficam mais evidentes as necessidades de discussões que abordem a relação entre o aumento do consumo humano e o impacto deste consumo no meio ambiente. A Revolução Industrial trouxe consigo o aumento no consumo de bens minerais e o consequente aumento na geração de resíduos, como é o caso dos resíduos de construção civil, levando à necessidade do tratamento adequado destes materiais quando descartados. (BERGERMAN; CHAVES, 2004).

A reciclagem se mostra, atualmente, uma das ações mais colaboradoras contra a degradação do meio ambiente. Ao reciclar os materiais que originalmente seriam descartados, muitas vezes de maneira incorreta, observa-se não só o ganho ambiental, mas também o econômico. A economia energética e a obtenção de um novo produto comercializável são os principais fatores que viabilizam a reciclagem (LEITE, 2007).

Cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) são compostos de resíduos de construção e demolição (RCD). Isso representa uma grave preocupação e uma grande necessidade da criação de uma política de reciclagem de RCD. Praticamente todos os países no mundo possuem políticas de gerenciamento de disposição dos resíduos de construção civil, a fim de evitar graves problemas urbanos, como dificuldade no escoamento de água, assoreamento de rios e outros problemas sócio-econômicos que o descarte inadequado pode causar. No Brasil, a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi criada em 2002 para estabelecer os critérios e as diretrizes do gerenciamento de RCD (ÂNGULO, 2005).

A resolução CONAMA n° 307 (CONAMA, 2002) define os resíduos da construção civil como materiais provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, como: tijolos, solos, concreto em geral, resinas, blocos cerâmicos, rochas, metais, colas, madeiras e compensados, tintas, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, plásticos, tubulações, vidros e fiação elétrica.

O material reciclado a partir de RCD no Brasil é, principalmente, utilizado para pavimentação ou como material para enchimento de aterros. O material também é muito usado, não só no Brasil, mas no mundo inteiro, em concretos e argamassas (ÂNGULO, 2005). O presente estudo tem o objetivo de caracterizar a fração mineral dos resíduos da construção civil de Poços de Caldas, visando o desenvolvimento de alternativas para o beneficiamento dos agregados graúdos para reúso ou reciclagem particularmente na pavimentação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAGEM

Foram estudadas duas amostras de RCDs coletados em um depósito de resíduos na cidade de Poços de Caldas. A amostragem foi realizada manualmente e aleatoriamente. Devido à grande diversidade de materiais encontrados no local,

optou-se por retirar dois tipos de amostras: uma composta prioritariamente por Resíduos de Concreto (chamado de grupo A) e uma segunda composta prioritariamente de Resíduos Mistos (chamado de grupo B). Logo após a coleta, os resíduos de cada amostra foram identificados de acordo com a norma da ABNT NBR 10007. Em seguida, os incrementos foram transportados para o *Campus* Avançado da Universidade Federal de Alfenas, localizado em Poços de Caldas, onde foram pesados utilizando uma balança industrial. A Tabela 1 apresenta as massas obtidas.

Tabela 1. Massa das amostras dos grupos A e B

Grupo A	Massa (kg)	Grupo B	Massa (kg)
Amostra 1	13,1	Amostra 1	13,0
Amostra 2	18,9	Amostra 2	14,4
Amostra 3	16,0	Amostra 3	16,2
Amostra 4	18,2		

Inicialmente, a fim de diminuir o tamanho das amostras, foi realizada uma pré-britagem, utilizando uma marreta e, em seguida, cada incremento foi encaminhado para um britador para obter a granulometria desejada. Após a britagem, com objetivo de reduzir homogeneamente as amostras, foi realizado o quarteamento, utilizando o quarteador de Jones. Foram obtidas duas alíquotas para cada amostra. Em seguida, todo o material (grupo A ou B) passou por uma segunda homogeneização. Cada alíquota, então, foi colocada em um saco plástico com aproximadamente 2 kg cada, identificada e pesada para mais tarde ser utilizada em ensaios de caracterização.

2.2. Ensaios de caracterização

Inicialmente, foi realizada a classificação dos materiais amostrados em agregados de resíduos de concreto (ARC) ou agregado de resíduos mistos (ARM), conforme definido na NBR 15116 (2014). Em seguida, foi realizada análise granulométrica conforma a NBR7181, separação em peneira de 4,75 mm conforme NM 53, de forma que o material graúdo seja aquele retido pela peneira e que receba tratamento para que seja possível caracterizar a sua absorção de água e porosidade. A morfologia dos grãos e o índice de forma foram determinados conforme NBR 7809 (1983). A caracterização do teor de torrões de argila foi realizada segundo a NBR 7218. O ensaio de Índice de Suporte Califórnia foi desenvolvido utilizando a norma NBR9895, sendo que a caracterização deste ensaio foi realizada apenas para os resíduos de agregados mistos, pois este ensaio não foi realizado no *campus* de Poços de Caldas e por motivos de logística e maior heterogeneidade da amostra, apenas os ARM foram transportados para o local de análise. Este ensaio foi realizado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os parâmetros medidos para classificação dos dois materiais amostrados como ARC (Grupo A) e ARM (Grupo B).

Tabela 2. Classificações dos agregados reciclados dos grupos A e B

Parâmetro	Grupo A	Grupo B
Massa total (kg)	3,08	2,91
Fragmentos com pasta de cimento em mais de 50% volume (%)	66,9	88
Fragmentos com rocha em mais de 50% volume (%)	34,4	1
Fragmentos de cerâmica branca ou vermelha (%)	0	9,6
Fragmentos de contaminantes e materiais não minerais (%)	0	2,3

Pode-se dizer que o material amostrado no grupo A efetivamente é um material pertencente à classe dos ARC, pois a soma das porcentagens dos fragmentos com pasta de cimento em mais de 50% volume (grupos 1) e fragmentos com rocha em mais de 50% volume (grupo 2) é superior a 90%. A partir deste momento, este grupo será abordado como ARC. Pode-se notar a alta presença de concreto no grupo B, no entanto, como a somas dos grupos 1 e 2 foi inferior a 90%, o material pertencente a este grupo da amostragem é classificado como ARM e será denominado, a partir deste momento, por tal classificação. A Tabela 3 ilustra os resultados da avaliação de composição granulométrica.

Tabela 3. Peso acumulado e porcentagem acumulada das amostras retidas

	ARM		ARC	
Malha (mm)	**Peso Acumulado (g)**	**Porcentagem Retida (%)**	**Peso Acumulado (g)**	**Porcentagem Retida (%)**
1,2	21,86	19,75	35,42	31,31
0,6	43,87	39,64	64,95	57,41
0,42	55,49	50,14	75,46	66,70
0,15	88,52	79,99	96,52	85,32
0,075	98,94	89,40	103,48	91,47
Coletor	110,67	100	113,13	100

Os resultados mostram que se avaliou um RCD muito fino (pouco graúdo). Isto deve ter acontecido pelo processo de marretar o material e ainda britá-lo durante o processo de amostragem.

A partir dos dados da Tabela 3 calculou-se o coeficiente de uniformidade, os quais estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficiente de uniformidade

Parâmetro	ARC	ARM
$D_{10\%}$ (mm)	0,1	0,1
$D_{60\%}$ (mm)	0,9	0,6
Coeficiente de Uniformidade	9,4	8,1

No ensaio de material passante na peneira de 75 µm por lavagem, obteve-se para os ARM uma massa original da amostra seca m_i= 933,19 g e massa da amostra seca após lavagem m_f = 908,4g. Assim, calculando-se a quantidade de material passante na peneira 75 µm tem-se um valor igual a 2,66%. Para o ensaio com o material ARC foram obtidos m_i = 1180,17 g e m_f = 1145,46 g e, calculando-se o teor de material passante na peneira 75 µm tem-se2,94%.

Os valores obtidos a partir do ensaio de absorção de água e porosidade estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5. Absorção de água e porosidade

Análise	ARC	ARM
Massa seca (g)	1090,07	639,38
Massa saturada com superfície seca (g)	1168,14	720,38
Massa em água (g)	661,58	376,85
Massa específica aparente (MEA)	2,1519	1,8612
Massa específica real (MER)	2,5440	2,4079
Absorção de água (%)	7,16	12,67
Porosidade (%)	15,41	22,70

A Tabela 6 apresenta os dados obtidos para os ARC em relação a massa retida em cada peneira após o peneiramento, a fração mássica calculada e o número de partículas retidas em cada peneira. A Tabela 7 apresenta os dados obtidos para os ARM.

Tabela 6. Dados do peneiramento e do cálculo de partículas para os ARC

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Retido (%)	Número de partículas
37,5	0	0	0
25	0	0	0
19	140,32	9,53	19
12,5	1061,45	72,13	144
9,5	269,85	18,34	37

Tabela 7. Dados do peneiramento e do calculo de partículas para os ARM

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Retido (%)	Número de partículas
37,5	0	0	0
25	123,08	8,76	18
19	225,26	16,03	32
12,5	768,43	54,68	109
9,5	288,50	20,53	41

Em seguida, mediu-se a maior e menor dimensão de cada partícula. No entanto, em algumas frações o número de partículas retidas na peneira era menor que o número de partículas necessárias para o ensaio, logo para suprimir esta falta foram medidas mais dimensões de partículas retidas na peneira inferior. Através da norma NBR 7809, o índice de forma calculado para os ARC foi igual a 2,4 mm e

para os ARM igual a 3,0 mm. Por meio dos resultados obtidos pode-se chegar à conclusão que ambas as amostras apresentam forma cúbica devido ao pequeno valor entre a relação de comprimento e espessura das amostras.

A dimensão máxima característica dos ARC e ARM também pode ser determinada pela análise da Tabela 6 e 7, de forma que esse parâmetro pode ser obtido pela malha da peneira que apresenta porcentagem de material retido acumulado igual ou imediatamente inferior a 5%. Desta forma, a dimensão máxima característica dos ARC será 25 mm e a dimensão máxima características dos ARM será 37,5 mm, enfatizando que estes valores são referentes às amostras após britagem.

Para o ensaio de determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis foram preparados 5 kg de cada tipo de amostra (ARM e ARC) e o ensaio foi feito para cada tipo separadamente. Foram obtidos os teores parciais de argila em torrões e materiais friáveis. O teor presente na amostra total é dado pelo somatório dos teores parciais e estes valores podem ser encontrados na Tabela 8.

Tabela 8. Teores parciais de argila e teor total

Intervalos Granulométricos (mm)	ARC	ARM
≥ 1,18 e < 4,75	0,43	0,19
≥ 4,75 e < 9,50	0,37	0,18
≥ 9,50 e < 19,0	0,95	1,67
≥ 19,0 e < 37,5	0,16	0,93
≥ 37,5	0	0
Somatório	1,91	2,97

O ensaio para determinação do índice de suporte Califórnia só foi realizado com a amostra ARM.

O Índice de Suporte Califórnia (ISC) calculado foi igual a 14%. O ensaio não apresentou expansão (o que é extremamente positivo para a aplicação na pavimentação) e foi obtido um ISC >12%, permitindo assim o uso deste material para execução de reforço de subleito (NBR 15116, 2004). Para ser utilizado como sub-base seria necessário apresentar ISC maior que 20% e para utilização como base de pavimentação este valor seria de 60%.

A Tabela 9 apresenta os valores obtidos nos ensaios para as amostras de ARC e ARM e compara esses valores com os requisitos estabelecidos em norma (NBR 15116, 2004) para a aplicação de agregados graúdos em pavimentação.

Tabela 9. Comparação dos valores obtidos nos ensaios com os requisitos determinados

	Pavimentação	ARC	ARM
Coeficiente de Uniformidade	>10	9,4	8,14
Dimensão máxima característica (mm)	≤ 63	25	37,5
Índice de Forma (mm)	≤ 3	2,4	3
Teor de material passante na peneira 0,42 mm	10% ≤ x ≤ 40%	33,30%	49,90%
Absorção de água (%)	NA	7,16	12,67
Torrões de Argila (%)	NA	1,91	2,97
Teor de material passante na peneira 0,075 mm	NA	2,94%	2,66%

A partir da Tabela 9 é possível concluir que dentre os requisitos analisados as amostras possuem potencial para serem utilizadas para pavimentação.

4. CONCLUSÃO

Os ensaios de caracterização foram realizados com duas amostras com características distintas, em que um grupo é classificado como agregado de resíduo de concreto (ARC) e o outro grupo como agregado de resíduo misto (ARM). Os parâmetros obtidos até este momento permitem inferir que os agregados de resíduo de concreto, assim como os agregados de resíduo misto possuem características que permitem a aplicação deste material em pavimentação, embora seja recomendada a análise do índice de suporte califórnia para os ARC. O ISC coloca restrições de uso do ARM em questão, limitando a aplicação do mesmo como reforço de subleito. Portanto, este trabalho permite concluir que há resíduos de construção civil no município de Poços de Caldas com características potenciais para reciclagem e reúso, que podem atender a outros fins que não o descarte em aterros, ampliando a prática sustentável.

5. Referências

Ângulo SC. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos. 2005. 167f. Trabalho para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR-NM53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBRNM248: Agregados – Determinação da composição granulométrica, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR-10007: Amostragem de resíduos sólidos, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR7809: Agregado Graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR7218: Agregados – Determinação do teor de argilas em torrões e materiais friáveis, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia, 2016.

Bergerman MG, Chaves AP. Experiência de Produção mais Limpa na CBA: Caso da Companhia Brasileira de Alumínio, Mina de Itamarati de Minas, MG. Rev. Brasil Mineral, São Paulo, n. 231, p. 16-24, ago. 2004.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n°307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html. Acesso em: 30 de mai. 2017.

Leite FC. Comportamento Mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. 2007. Trabalho apresentado para a obtenção do título de Mestre – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Motta RS. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. 2005. Trabalho apresentado para a obtenção do título de Mestre – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.