



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS PRODUZIDOS EM BRITADORES DE MANDÍBULA E IMPACTO<sup>1</sup>

**MARINHO, Gabriel (1); SANTOS, Elaine (2); SANTOS, Larissa (3); DEGRAF, Henrique (4);  
MIRANDA, Leonardo (5); VOGT, Vanessa (6)**

(1) UFPR, email: gabrielmarinho17@hotmail.com; (2) UFPR, email: elainesouza.cad@gmail.com; (3) UFPR, email: larissasbrissia@gmail.com; (4) UFPR, email: degraf.henrique@gmail.com; (5) UFPR, email: reciclagem.miranda@gmail.com; (6) IFPR, email: vogt.vanessa@gmail.com

### RESUMO

O agregado reciclado possui características heterogêneas que podem ser influenciadas pela origem do resíduo e seu processo de britagem. O objetivo deste trabalho é apresentar a influência do tipo de britador nas propriedades físicas dos agregados reciclados miúdos (material < peneira 4,8 mm). Para isto, foram coletadas duas amostras, em diferentes épocas, de resíduo cerâmico e de concreto que foram britadas em britadores de mandíbula e de impacto. A caracterização contemplou os ensaios de composição granulométrica, material passante na peneira 75 µm, massa unitária, massa específica, absorção de água, forma dos grãos obtidas por análise microscópica. Notou-se que o material britado no britador de impacto apresentou maior teor de finos < 75 µm. A massa específica do agregado reciclado no britador de impacto foi menor que no de mandíbula, pois o impacto retira da fração graúda uma quantidade maior de argamassa aderida, transferindo-a para a fração miúda. O arredondamento das partículas se mostrou igual nas amostras de concreto, independente do britador. A esfericidade nos grãos de concreto, processados na mandíbula foi maior que no impacto; para o agregado misto, os valores se inverteram. Todas as amostras derivadas do britador de impacto obtiveram uma absorção maior que as amostras provenientes da mandíbula.

**Palavras-chave:** Agregado reciclado. Reciclagem. Resíduo de construção e demolição.

### ABSTRACT

*The recycled aggregate has heterogeneous characteristics which may be influenced by the origin of the waste and its crushing process. The objective of this research is to present the influence that the kind of crushing may cause in the physical properties of the fine recycled aggregates (material < sieve 4,8mm). In this research, two samples were collected in different periods, one of concrete waste and the other one of mixed concrete and ceramic waste, both originated by a jaw crusher and an impact crusher. The characterization contemplated tests of grain size distribution, unit mass, bulk density, water absorption and shape index. It was noticed that the material obtained by the impact crusher had more fines content (under 75 µm) and a smaller density than the jaw crusher, because the impact crusher remove a significant amount of attached mortar of the coarse fraction transferring it to the fine fraction. The rounding of the particles was equal in the concrete samples, independent of the type of*

<sup>1</sup> MARINHO, G. et al. Avaliação das propriedades físicas de agregados miúdos reciclados produzidos em britadores de mandíbula e impacto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

*crusher. The sphericity of the concrete grains, passed through a jaw crusher, was higher than the impact crusher; the results were the opposite for the mixed (concrete and ceramic) aggregate. All samples derived of the impact crusher obtained a higher absorption than all samples of the jaw crusher.*

**Keywords:** Recycled aggregate. Recycling. Construction and demolition waste.

## 1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos de construção civil é uma preocupação ambiental de responsabilidade dos poderes governamentais, seja na construção de aterros, coleta do RCD (resíduo de construção e demolição), na política de reutilização, incentivo para o desenvolvimento de novas tecnologias de reaproveitamento, como já acontece no Brasil e em outros países emergentes.

No Brasil, as prefeituras dos municípios coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2014 destinados irregularmente, o que implica no aumento de 4,1% em relação a 2013 (MIRANDA, 2014). O RCD gerado pode ser destinado em aterros públicos ou em usinas de reciclagem públicas ou privadas.

Dados sobre a situação de reciclagem no Brasil indicam que existem em todo o país mais de 310 usinas de recicladoras, sem levar em conta as usinas da Região Norte (ABRECON, 2013). Depois da etapa de reciclagem, a utilização do material beneficiado pode ter diversos usos, dependendo do mercado local, controle tecnológico e sua origem.

Em relação aos tipos de equipamentos de britagem, das 112 usinas entrevistadas em uma pesquisa setorial de ABRECON (2013), 49% usam britadores de mandíbula e 29% de impacto. Apesar do maior uso de britadores de mandíbulas pelo seu menor custo de aquisição e manutenção, a recomendação que normalmente é feita pelo meio técnico é pelo uso do britador de impacto, pois é dito que é melhor a qualidade do agregado gerado e são menores as pausas na produção quando se tem presença de RCD misto e úmido. Ainda se referindo ao britador de impacto, este gera agregados com forma mais cúbica, sendo aconselhável sua utilização para materiais com tendência de produzir partículas mais lamelares (LUZ et al., 1998).

Os britadores de impacto e de mandíbula podem influenciar as características dos agregados gerados, variando na forma e na porosidade das partículas. Desta forma, dados da literatura não demonstram a verdadeira importância de se utilizar britadores de impacto para melhoria da qualidade dos agregados reciclados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, a origem principal é mista (concreto e alvenaria), assim como em muitos países europeus (ULSEN, 2011). Os resíduos mistos são na maioria constituída por tijolos, areias e argamassas (LUCENA, 2005).

Os RCD (resíduos de construção e demolição) passam por um processo de beneficiamento no qual os britadores são equipamentos usados para cominuição, utilizados para redução granulométrica e tendo o poder de modificar a morfologia das partículas.

Para a realização do esforço que rompe as ligações interatômicas dos resíduos, os equipamentos de britagem e moagem utilizam diferentes mecanismos. Os principais mecanismos de fragmentação são o de compressão, de impacto ou de abrasão por cisalhamento (GALERY, 2011).

O mecanismo de compressão consiste na quebra devido às forças de compressão, de baixa intensidade, quando aplicadas de maneira lenta e progressiva, permite o aparecimento da fratura. O efeito deste mecanismo é um número reduzido de fragmentos homogêneos de tamanho intermediário. É o mecanismo mais comum e ocorre, principalmente, em britadores de mandíbulas, britadores giratórios e cônicos (GALERY, 2011).

Na fragmentação por impacto, a fratura acontece quando forças são aplicadas rapidamente e em proporção muito superior à resistência das partículas. A consequência deste tipo de quebra é uma ampla faixa granulométrica com um grande número de partículas. Em utilização de energia este é o mecanismo mais eficiente (VALADÃO, 2007).

Nos últimos anos, aumentou o interesse pelo empacotamento das partículas nas diferentes áreas da engenharia. Esse interesse pode ser explicado pelo fato de uma grande parte dos materiais naturais possuírem diferentes formas e tamanhos (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009). A forma das areias influencia diretamente no empacotamento das partículas, sendo grande a diferença entre a esfericidade e o arredondamento das areias quando se muda a origem e o tipo de britador para obtenção das mesmas (ARNOLD, 2011). O maior grau de arredondamento das areias aumenta quando possuem uma menor área, perímetro e dimensão máxima dos grãos, ou seja, é diretamente proporcional a forma do grão (TRISTÃO, 2005).

A absorção de água é a propriedade que mais diferencia os agregados reciclados dos naturais (CARNEIRO *et al.*, 2001) e está diretamente relacionada à porosidade do agregado reciclado devido ao teor de argamassa aderida que forma uma zona de transição em volta do agregado natural (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A faixa de valores típicos de absorção dos agregados reciclados de concreto, de acordo com Saeed *et al.* (2007), varia de 4% a 8% para agregados miúdos. As propriedades de absorção de água e massa específica aparente dos agregados reciclados dependem da sua natureza, sendo menores para agregados graúdos reciclados de concreto, e no caso de agregados mistos podem alcançar 20% quando eles incluem uma quantidade grande de partículas cerâmicas (SAKIA e BRITO, 2013).

A quantidade de finos totais para a areia reciclada varia de 20 a 40%, e que é diretamente influente nas propriedades nos estados fresco e endurecido das argamassas. Desse modo, o principal controle a ser realizado com

rigoriedade é a quantidade de materiais finos menores que 75  $\mu\text{m}$ , incluindo aqui os finos provenientes dos aglomerantes (MIRANDA, 2000). O teor de materiais finos (<75  $\mu\text{m}$ ) para as areias recicladas de RCD o valor mínimo é cerca de 5%. Como o RCD normalmente vem associado a materiais cerâmicos, este valor pode oscilar facilmente entre 15% e 30% (MIRANDA; SELMO, 2003).

### 3 METODOLOGIA

Objetivando a comparação entre britadores, observou-se a necessidade de mesma capacidade no britador de impacto e no britador de mandíbula, respeitando a produção horária e a dimensão máxima característica do agregado produzido. O britador de mandíbula escolhido foi um 6040 com capacidade de 50 t/h da usina de PROGRARU em Guarulhos/SP com posição aberta de 101 mm, com abertura máxima de 150 mm. O britador de impacto adotado foi um equipamento de 50 t/h com 10 martelos, motor 50 cv, top-size de 150 mm (abertura do britador), da empresa URBEM, em São Bernardo dos Campos/SP, onde foram coletados os RCD dessa pesquisa.

Escolheram-se dois lotes de cada tipo de resíduo (misto e concreto) mais homogêneo disponível, denominados de amostra A e B. Um lote foi processado no britador de impacto na própria URBEM aonde foi retirado o material e o outro lote foi levado ao britador de mandíbula na PROGRARU. Esse procedimento resultou em amostras conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Divisão das amostras

PARÂMETROS			
AMOSTRAGEM	BRITADOR	MATERIAL	ABREVIÇÃO
AMOSTRA A	MANDÍBULA	CONCRETO	MCA
		MISTO	MMA
	IMPACTO	CONCRETO	ICA
		MISTO	IMA
AMOSTRA B	MANDÍBULA	CONCRETO	MCB
		MISTO	MMB
	IMPACTO	CONCRETO	ICB
		MISTO	IMB

Fonte: Os autores

Desse material foi separado o agregado miúdo (material passante na peneira 4,8 mm) para execução dos ensaios. Todos os agregados utilizados nesta pesquisa foram devidamente homogeneizados e reduzidos a quantidade para cada ensaio com o auxílio do redutor de amostras tipo Jones.

Para caracterização dos agregados reciclados utilizou-se normas que abrangessem tanto agregados naturais como reciclados conforme Tabela 2. Porém, para análise de algumas propriedades buscou-se ensaios complementares descritos a seguir.

Tabela 2 – Ensaios de caracterização dos agregados.

CARACTERIZAÇÃO	NORMA
Composição granulométrica	NBR NM 248 - 2003
Material passante na peneira 75 µm	NBR NM 46 - 2003
Massa unitária	NBR NM 45 - 2006
Massa específica - Agregados miúdos	NBR NM 52 - 2009
Absorção - Agregados miúdos	NBR NM 30 - 2001
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	-

Fonte: Os autores

### 3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICO DE VARREDURA

O equipamento usado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura TESCAN VEGA3 LMU, com resolução de até 3 nm, analisa aspectos bidimensionais por estereoscópica de elétrons secundários. O programa foi o Mex da empresa Alicona.

Para a análise da forma dos grãos dos agregados, utilizou-se a metodologia proposta por Tristão (2005), onde se aplicou o uso de imagem digitalizado para obter parâmetros de forma e textura dos grãos dos agregados miúdos.

Para o ensaio optou-se por utilizar o agregado retido na peneira 0,15 mm a fim de preencher aproximadamente 200 partículas no amostrador padrão do MEV com aproximadamente 1 cm de diâmetro.

As imagens dos grãos de areia foram analisadas no *software* IMAGEJ. Este programa possibilitou a medição de cada grão quanto aos seus diâmetros, de maior e menor dimensão, perímetro e área superficial. A partir desses dados foi possível calcular o arredondamento, alongamento e esfericidade que cada grão.

O arredondamento foi calculado a partir da Equação 1:

$$A_r = \frac{4S}{\pi(d_{\text{máx}})^2} \quad (1)$$

Onde:

$A_r$  = arredondamento

$S$  = área da projeção da partícula (mm<sup>2</sup>)

$D_{\text{máx}}$  = diâmetro máximo de Feret (mm)

Fonte: Tristão (2005)

A esfericidade foi calculada a partir da Equação 2:

$$F_f = \frac{4\pi S}{P^2} \quad (2)$$

Onde:

$F_f$  = esfericidade

$S$  = área de projeção da partícula ( $\text{mm}^2$ )

$P$  = perímetro da projeção da partícula (mm)

Fonte: Tristão (2005)

### 3.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA DO AGREGADO MIÚDO

O método proposto na pesquisa de Kaneko (2014) propunha que a amostra fosse formada pelo material passante pela peneira 4,8 mm, seca 24h em estufa a 100 °C, com aproximadamente 150g. O método de saturação foi à vácuo – 500 mmHg por 30 minutos, o vácuo deveria ser retirado e agitado o recipiente para retirada das bolhas de ar em 1, 3, 5, 10 e 15 minutos do início do ensaio e reaplicado a pressão imediatamente.

Para a realização do ensaio foi utilizada o mesmo procedimento e conjunto de equipamentos utilizados por Kaneko (2014): Balança Shimadzu – Modelo: UX4200H, Balão Volumétrico PHOX 2000 ml, Bomba de Vácuo e Pressão QUIMIS - Modelo: Q355B, Computador Creative 52Xmx (Sistema operacional: Windows XP) e Micro-ondas PANASONIC 28L – Modelo: NNS 56 B – Potência nominal: 900 W.

O recipiente com o material miúdo foi suspenso através de uma linha de *nylon* dentro do micro-ondas e acoplado na parte inferior da balança, e submetido a um processo de preaquecimento de 30 minutos de acordo com Kaneko (2014).

Reiniciou-se então a secagem com a massa da amostra sendo medida a cada 20 segundos até que a taxa de secagem fosse linearmente decrescente (momentos próximos à estabilização da massa do conjunto). Estas medições geraram uma tabela com uma coluna contendo os tempos  $t$  (período de leitura dos dados) e a massa do conjunto agregado e água relativa a cada  $t$ .

Os resultados obtidos serviram para a montagem de um gráfico “Taxa de umidade x Taxa de secagem”, onde a taxa de umidade foi calculada através da Equação 3 e a taxa de secagem de acordo com a Equação 4.

O teor de umidade a cada instante ( $t$ ), em porcentagem, é obtido pela subtração entre a massa do conjunto agregado/água no instante ( $t$ ) e a  $M_s$  inicial, dividido pelo valor da  $M_s$  inicial.

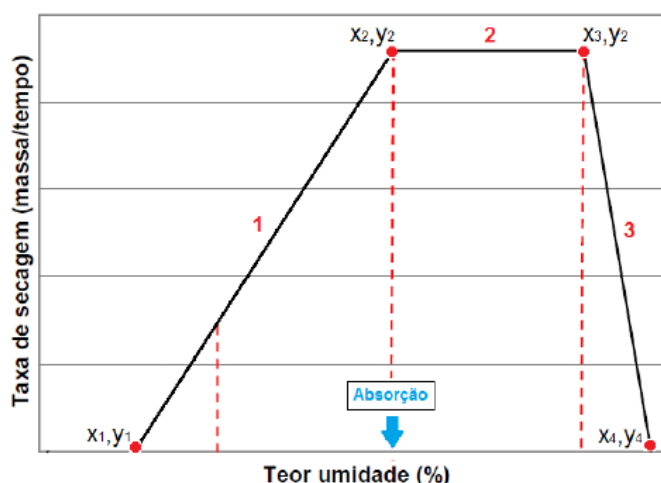
$$\text{Taxa umidade (t)}(\%) = \frac{M_{\text{conj.agreg/água}(t)} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \quad (3)$$

A taxa de secagem pode ser calculada, em cada instante  $t$ , pela subtração da massa do conjunto agregado/água do instante  $(t)$  em relação ao instante  $(t - 1)$  anterior, dividida pelo próprio intervalo de tempo.

$$\text{Taxa secagem (t)}(\text{massa/tempo}) = \frac{M_{\text{conj.agreg/água}(t-1)} - M_{\text{conj.agreg/água}(t)}}{(t) - (t-1)} \quad (4)$$

Para a obtenção do valor da umidade foram criadas retas através do programa *Origin* com uma função que garante o menor desvio padrão dos dados em relação às três retas juntas conforme a Figura 1.

Figura 1 – Gráfico base para definição da função no *Origin*



Fonte: Kaneko (2014)

## 4 RESULTADOS

Para a apresentação dos resultados da caracterização das amostras foi elaborada a Tabela 3, na qual os resultados para cada parâmetro foram divididos por amostra, tanto para a amostragem A quanto para B. As curvas granulométricas foram apresentadas no capítulo seguinte.

A tabela concebida tem por função auxiliar a interpretação correlacionada dos resultados, mas cada parâmetro foi descrito especificamente nos capítulos a seguir.

Tabela 3 - Resumo dos resultados de caracterização das amostras.

	ICA	MCA	IMA	MMA	ICB	MCB	IMB	MMB
Passante na peneira 4,8 mm (%)	28	13	53	39	29	11	59	29
Arredondamento	0,51	0,51	0,57	0,54	0,52	0,46	0,48	0,51
Esfericidade	0,40	0,44	0,46	0,40	0,30	0,26	0,20	0,37

Índice de forma - Agregado miúdo		1,7	1,7	1,5	1,6	1,6	1,7	1,5	1,6
Material passante na peneira 75 µm (%)		14	11	21	13	9	9	15	11
Absorção de água – Micro-ondas (%)		15,9	12,4	14,3	13	13,4	11,6	18,3	15,7
Absorção de água - NBR NM 30 (%)		9,5	8,2	7,5	5,3	6,8	6,1	8,4	7,9
Absorção de água - NBR (Sem < 75 µm) (%)		7,5	6,9	6,1	4,8	5,8	5,8	7,8	7,6
Massa unitária (g/cm³)		1,25	1,28	1,2	1,25	1,31	1,33	1,2	1,21
Massa específica (g/cm³)		2,61	2,53	2,52	2,38	2,54	2,51	2,5	2,44
Índice de vazios		1,09	0,98	1,09	0,91	0,95	0,89	1,08	1,02

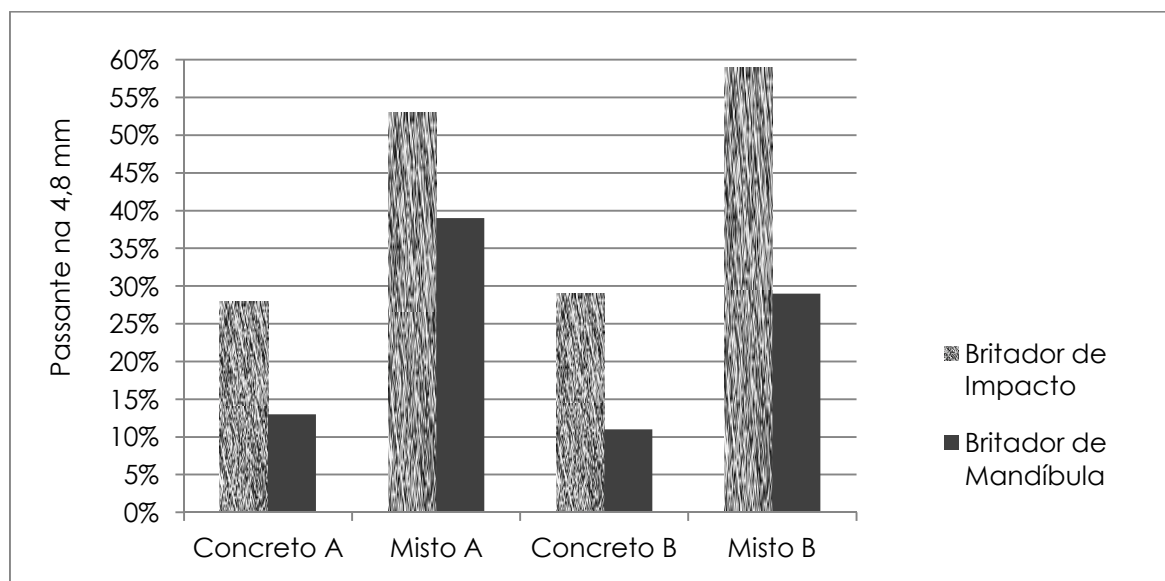
Fonte: Os autores

#### 4.1 CURVAS GRANULOMÉTRICAS

No parâmetro porcentagem de material passante na peneira 4,8 mm pode-se notar a influência dos mecanismos de britagem e também da natureza dos materiais. A amostra LMB com 59% gerou a maior porcentagem de material passante na peneira 4,8mm e a amostra MCB com 11% foi a menor porcentagem dentre as amostras (Figura 2).

A porcentagem baixa de material < 4,8 mm foi um limitante para execução dos ensaios desse trabalho pelo motivo de que ao final de alguns ensaios essa fração de material era descartada limitando assim a repetibilidade dos ensaios subsequentes. Para as usinas de reciclagem, a baixa quantidade de material menor que 4,8 mm evidencia a dificuldade de produção dessa fração em grandes volumes.

Figura 2 – Material passante na 4,8 mm para cada amostra, separadas por britadores.

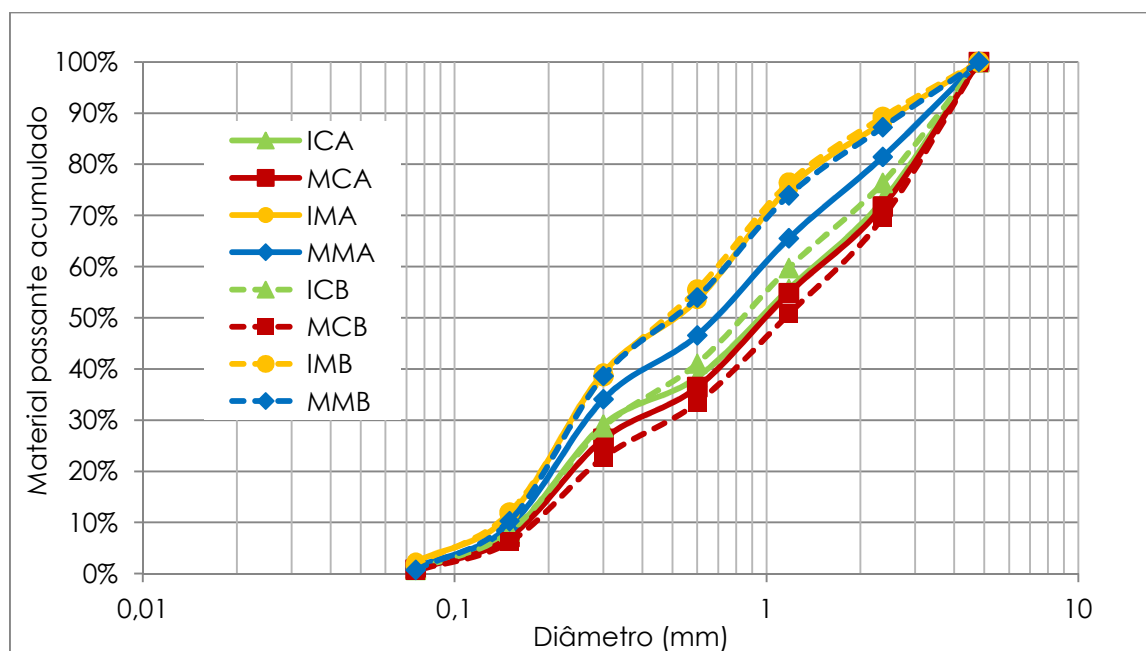


Fonte: Os autores



Entre as curvas granulométricas existiu uma tendência de comportamento devido às naturezas dos materiais (Figura 3). As amostras derivadas de concreto possuíram uma curva mais grossa, ou seja, concentrou-se uma maior quantidade de grãos em peneiras maiores, já os materiais com origem mista possuíram curvas com maior quantidade de grãos nas peneiras de menor numeração, caracterizando-as como curvas finas. Na amostragem A houve diferença entre as curvas granulométricas para os materiais de origem mista, em contrapartida essa diferença granulométrica na amostragem B ocorreu nos materiais de origem de concreto.

Figura 3 – Distribuição granulométrica passante acumulada do agregado miúdo

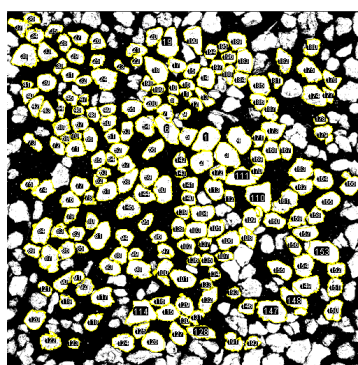


Fonte: Os autores

## 4.2 FORMA DOS GRÃOS

Com os dados obtidos no software IMAGEJ calculou-se o arredondamento, esfericidade e índice de forma dos grãos. Para a verificação de diferença entre as amostras (origem concreto e mista) e também entre os britadores foi feito um estudo estatístico através da ANOVA e Teste-t (Figura 4).

Figura 4 – MEV Escala 2 mm amostra IMA



Fonte: Os autores

O comportamento dos britadores em relação ao arredondamento não se manteve igual nas amostras A e B. Entre as amostras A de concreto estatisticamente não houve diferenças entre os britadores, e na fração mista o britador de mandíbula gerou um arredondamento menor que o de impacto.

Já na amostragem B, o comportamento foi diferente: nas amostras de concreto o maior valor de arredondamento foi para o britador de impacto, nas amostras mistas a mandíbula que produziu o menor arredondamento. Valores mais próximos de 1 para esse parâmetro representam grãos mais arredondados.

Em relação à esfericidade, podem-se notar diferenças entre os britadores. Nas amostras A de concreto a maior esfericidade foi encontrada no britador de mandíbula, fato que se inverteu nas amostras A mistas. Na amostragem B a maior esfericidade para o britador de impacto ocorreu na amostra de concreto, quando que para a mandíbula isso ocorreu no agregado misto. Como no arredondamento, valores perto de 1 significam grãos mais arredondados, valores perto de 1 na esfericidade significam grãos mais esféricos.

Os índices de forma dos agregados na amostragem A não sofreram influência dos britadores analisando os materiais concreto e misto. Entretanto as amostras B tiveram interferência dos britadores em seus resultados de índice de forma revelando o britador de mandíbula como o equipamento de britagem que gera grãos mais lamelares. Entretanto, considera-se tal diferença irrelevante.

#### **4.3 MATERIAL PASSANTE NA PENEIRA 75 $\mu$ m E ABSORÇÃO DE ÁGUA**

O britador de impacto gerou maior teor de material passante na peneira 75  $\mu$ m em três das quatro combinações entre amostras, sendo encontrada a maior diferença no material misto da amostra A.

As absorções sofreram influência da natureza do material e do britador, independente da metodologia usada para absorção, sendo maiores no britador de impacto. Todas as amostras apresentaram maior absorção no ensaio do micro-ondas quando comparado aos outros métodos. Isto ocorre devido ao método de saturação a vácuo permitir maior penetração de água nos poros que pelo método da NBR NM 30 – 2001, método em que o material fica submerso em água por 24 horas. O ensaio de absorção pela NBR NM 30 – 2001 com finos resultaram em uma absorção maior que a sem finos o que já era esperado pela maior superfície específica dessa fração.

#### **5 CONCLUSÕES**

As características dos agregados miúdos tiveram influência do método de britagem, onde o britador de mandíbula gerou curvas granulométricas mais grossas que as de impacto, para uma mesma capacidade de produção horária.

Observando a forma dos grãos as amostras apresentaram diferença nos parâmetros arredondamento, esfericidade e o índice de forma. Porém o comportamento dessa diferença não se manteve entre as amostras A e B devido à grande variabilidade dos materiais, o que impede conclusões a respeito da influência do tipo de britador na forma dos grãos.

Assim como a curva granulométrica, o teor de material passante na peneira 75 µm apresentou maiores valores nas amostras de britador de impacto.

Independente da escolha do método de determinação de absorção de água não houve diferença significativa em nenhuma amostra em função do britador.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao BNDES pelo apoio financeiro à pesquisa, à Soliforte, à Proguaru e à Urbem pelo apoio na obtenção de amostras.

### REFERÊNCIAS

ABRECON. **Relatório pesquisa setorial 2013: A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil.** São Paulo, 2013. 22 p.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. **Agregados – determinação da distribuição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM 30. **Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR NM 45. **Agregado – determinação da densidade de massa e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR NM 46. **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM 52. **Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

CARNEIRO, A.P. *et al.* **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção** - Projeto Entulho Bom. Salvador. EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.

CASTRO, A.; PANDOLFELLI, V. **Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil.** Cerâmica, v. 55, n. 333, p. 18-32, 2009.

GALERY, R. **Fragmentação de minérios: primeira parte.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

KANEKO, C. **Desenvolvimento de método para determinação da absorção de água em agregados miúdos reciclados através de micro-ondas**. 142 p. Trabalho final de curso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LUCENA, L. F. L.; NEVES, G. A.; NASCIMENTO, J. D.; OLIVEIRA, D. F., 2005, **Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil no Município de Campina Grande**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 4., Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção, 1., Porto Alegre.

LUZ, A.B. da; POSSA, M.V.; ALMEIDA, S.L. **Tratamento de minérios**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM – Centro de tecnologia mineral e CNPq., 1998, 676 p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3º ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MIRANDA, Leonardo F. R **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. In: ABRELPE. São Paulo, 2014. 120 p.

MIRANDA, Leonardo F. R.; SELMO, Sílvia. **Argamassas com areia de entulho reciclado**. Técnica, São Paulo, n. 74, maio 2003.

MIRANDA, Leonardo. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe a da construção civil**. 2005. 438 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

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

SAEED, A.; HAMMONS, M. I.; REED, J. L. **Comprehensive Evaluation, Design, and Construction Techniques for Airfield Recycled Concrete Aggregate as Unbound Base**. In: Transportation Research Board 86<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington DC, United States, 2007. 16p.

SAIKIA, N.; BRITO, J. **Recycled Aggregate in Concrete – Use of Industrial, Construction and Demolition Waste**. Springer-Verlag. London, 2013.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias na propriedades das argamassas mistas de revestimento**. 286 f. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ULSEN, C. **Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição**. 222 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VALADÃO, G. E. S.; ARAUJO, A. C. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.