XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SEPARAÇÃO EM JIGUE PNEUMÁTICO NA FORMA DE AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO[1]

BARONI, Tainara (1); LOVATO, Patrícia (2)

(1) Universidade de Passo Fundo, tainarabaroni99.tb@gmail.com
(2) Universidade de Passo Fundo, patricialovato@upf.br

RESUMO

De modo a separar os constituintes do resíduo de construção e demolição, reduzindo a heterogeneidade dos agregados reciclados, têm sido realizados estudos acerca da eficiência de processos de separação. Um desses processos é a separação em jigue pneumático. A sua característica de funcionamento, marcada pela elevada vibração da câmara de separação, provoca um intenso atrito entre as partículas, o que ocasiona a fragmentação de algumas delas. Considerando a influência da forma do agregado nas propriedades do concreto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência do processo de separação em jigue pneumático no índice de forma de sete categorias de agregados graúdos reciclados de resíduos de construção e demolição, analisados isoladamente, sendo eles: agregados de concreto, argamassa, tijolos cerâmicos maciços, blocos cerâmicos de vedação, blocos cerâmicos estruturais, gesso e vidro. Constatou-se que o processo de separação em jigue pneumático influenciou significativamente no índice de forma dos agregados reciclados de concreto, de argamassa, de bloco cerâmico de vedação e de bloco cerâmico estrutural, porém não alterando a sua forma característica, alongada ou lamelar, dependendo do tipo de agregado analisado.

Palavras-chave: *Resíduos de construção e demolição. Agregados reciclados. Jigue pneumático. Índice de forma. Forma dos agregados.*

ABSTRACT

In order to separate the constituents of construction and demolition waste, reducing the heterogeneity of recycled aggregates, studies have been carried out on the efficiency of separation processes. One of these methods is separation in air jigs. Its operating characteristic, marked by the high vibration of the separation chamber, causes intense friction between the particles, which results in fragmentation of some particles. Considering the influence of the aggregate's shape on the properties of concrete, this research aimed to evaluate the influence of separation in air jig on the shape index of seven categories of coarse recycled aggregates from construction and demolition waste, analyzed in isolation, being them: aggregates of concrete, mortar, ceramic solid brick, hollow ceramic blocks for non-load bearing masonry, structural ceramic blocks, plaster and glass. It was found that the separation in air jig influenced significantly the shape index of recycled aggregates of concrete, mortar, hollow ceramic blocks for non-load bearing masonry and structural ceramic block, but don't

[1] BARONI, Tainara; LOVATO, Patrícia. Avaliação da influência do processo de separação em jigue pneumático na forma de agregados graúdos reciclados de resíduos de construção e demolição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

changing its characteristic shape, elongated or lamellar, depending on the type of aggregate analyzed.

Keywords: *Construction and demolition waste. Recycled aggregates. Air jig. Shape index. Aggregate's shape.*

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil consome grandes quantidades de recursos naturais e gera elevado volume de resíduos, provocando impacto ambiental. Esses resíduos são provenientes de construções, demolições, produção do concreto e ensaios de laboratório.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), em 2017, foram coletadas 71,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Desses, 45 milhões de toneladas correspondem a resíduos de construção e demolição (RCD). Esse valor representa 123.421 toneladas de RCD coletadas por dia e um índice de 0,594 (kg/hab/dia).

Ainda segundo a ABRELPE (2018), do total de RSU coletado, apenas 59,1% foi disposto em aterros sanitários, o restante, correspondente a 40,9%, foi despejado em lixões ou aterros controlados, que não compreendem estrutura organizacional adequada para o combate à poluição ambiental. Além disso, é importante lembrar dos resíduos que são gerados e não são coletados, o que agrava ainda mais a situação.

Em vista disso, é inevitável realizar a reciclagem dos resíduos de construção e demolição e, assim, minimizar os impactos ambientais. Uma alternativa é promover sua utilização como agregado na produção de concretos. No entanto, a heterogeneidade dos resíduos interfere nas propriedades do agregado reciclado, bem como no comportamento do concreto com ele produzido, o que revela a necessidade do emprego de processos de separação que permitam classificar os agregados reciclados.

A separação em jigues pneumáticos tem se mostrado atrativa, uma vez que apresenta resultados satisfatórios frente à separação de elementos com dimensões entre 4 e 20 mm (SAMPAIO et al., 2016) e a possibilidade de associação de dois estágios de beneficiamento: remoção de contaminantes e classificação da fração graúda (AMBRÓS et al., 2017). Além desses aspectos, o processo não utiliza água (ANGULO, 2005) e não libera partículas de poeira no ar durante o seu funcionamento, já que, normalmente, posicionam-se coletores sobre o compartimento de separação, os quais conduzem o material fino, que seria transportado pelo ar, a filtros manga ou ciclones para recuperação, evitando a poluição do ar (AMBRÓS, 2017).

Entretanto, a excessiva vibração da câmara de separação, característica do sistema de funcionamento dos jigues pneumáticos, ocasiona, além da estratificação que faz parte do processo, um intenso atrito entre as partículas. Em sua pesquisa, Lovato (2018) constatou uma elevada concentração de elementos de dimensão inferior a 4,75 mm dispostas na parte superior da câmara. Segundo a autora, os mesmos resultaram do atrito provocado pelo equipamento durante o ensaio e pelas operações de manuseio, que ocasionaram a fragmentação dos materiais, que inicialmente encontravam-se com dimensões entre 4,75 e 19 mm.

Frente a isso, e considerando a influência da forma do agregado nas propriedades do concreto, surge a necessidade de investigar a possível influência do processo de jigagem na forma de agregados reciclados de RCD.

2 MÉTODO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram empregados agregados reciclados provenientes de sete tipos de resíduos de construção e demolição, que foram analisados separadamente, os quais estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Categorias de agregados reciclados analisadas



Fonte: Os autores

Os agregados reciclados de concreto foram obtidos a partir de corpos-de-prova de concreto, com resistências à compressão entre 25 e 35 MPa. A obtenção dos agregados reciclados de argamassa ocorreu a partir de argamassas produzidas em laboratório, no traço em volume 1:2:8, de cimento, cal e areia. Os agregados reciclados cerâmicos são provenientes de tijolos maciços com dimensões (9 x 5,3 x 19) cm, blocos vazados 6 furos com dimensões (9 x 14 x 19) cm e blocos estruturais de f_{bk} 7 MPa e dimensões de (14 x 19 x 29) cm. O gesso foi coletado em usina de reciclagem e o vidro foi obtido na Central de Resíduos da Universidade de Passo Fundo, sendo proveniente apenas de vidros de esquadrias.

Os diferentes tipos de resíduos foram britados em britador de mandíbulas de movimento elíptico, para que os agregados ficassem dentro da faixa de dimensões possível de separar no jigue pneumático (4 a 20 mm). Após a britagem, os materiais obtidos passaram por classificação granulométrica, utilizando-se agitador mecânico

de peneiras. Foram utilizadas peneiras com abertura de malha 19 mm e 4,75 mm.

Para a avaliação da eficiência do processo de separação em jigue pneumático, foco de pesquisa em andamento, uma mistura contendo 14,3% de cada tipo de agregado reciclado citado anteriormente foi elaborada, realizando-se a separação em 3 amostras.

Os ensaios foram realizados no jigue pneumático denominado AllAir® S-500, fabricado pela empresa AllMineral, mostrado na Figura 2. O equipamento é constituído de múltiplas gavetas, que fazem parte da câmara de estratificação, e possui, em sua parte inferior, duas entradas de fluxo de ar simultâneo, a primeira, com a função de expandir o leito de partículas e, a segunda, imprimir vibração (SAMPAIO et al., 2016).

Figura 2 – Jigue pneumático



Fonte: Os autores

O equipamento foi regulado para uma frequência de 160 rpm, uma expansão do leito de 70% e um tempo de ensaio de 120 segundos. Após a realização do ensaio, os agregados reciclados encontravam-se subdivididos, de acordo com sua densidade, em cada uma das gavetas, como exemplificado na Figura 3.

Figura 3 – Material separado nas gavetas.



Fonte: Os autores

Após, realizou-se a separação visual das partículas contidas em cada gaveta, conforme cada categoria de agregado reciclado utilizado, para possibilitar a verificação da eficiência de separação do equipamento. Dessa forma, têm-se os diferentes materiais constituintes do RCD separados novamente, que foram os empregados neste trabalho como agregados jigados. Os agregados não jigados foram os não utilizados para o preparo das composições.

Tendo os agregados separados por categoria, jigados e não iigados, inicialmente determinou-se a composição granulométrica de cada um dos agregados, seguindo-se a NBR NM 248 (ABNT, 2003), para determinar a quantidade de grãos a serem analisados em cada peneira quanto ao índice de forma. Este foi determinado seguindo as exigências da NBR 7809 (ABNT, 2019), por meio da medição de 200 partículas de cada categoria de agregado reciclado de RCD não submetido e submetido ao processo de separação em jigue, com o auxílio de um paquímetro digital. As medidas ocorreram na maior (comprimento) e na menor (espessura) dimensão de cada grão.

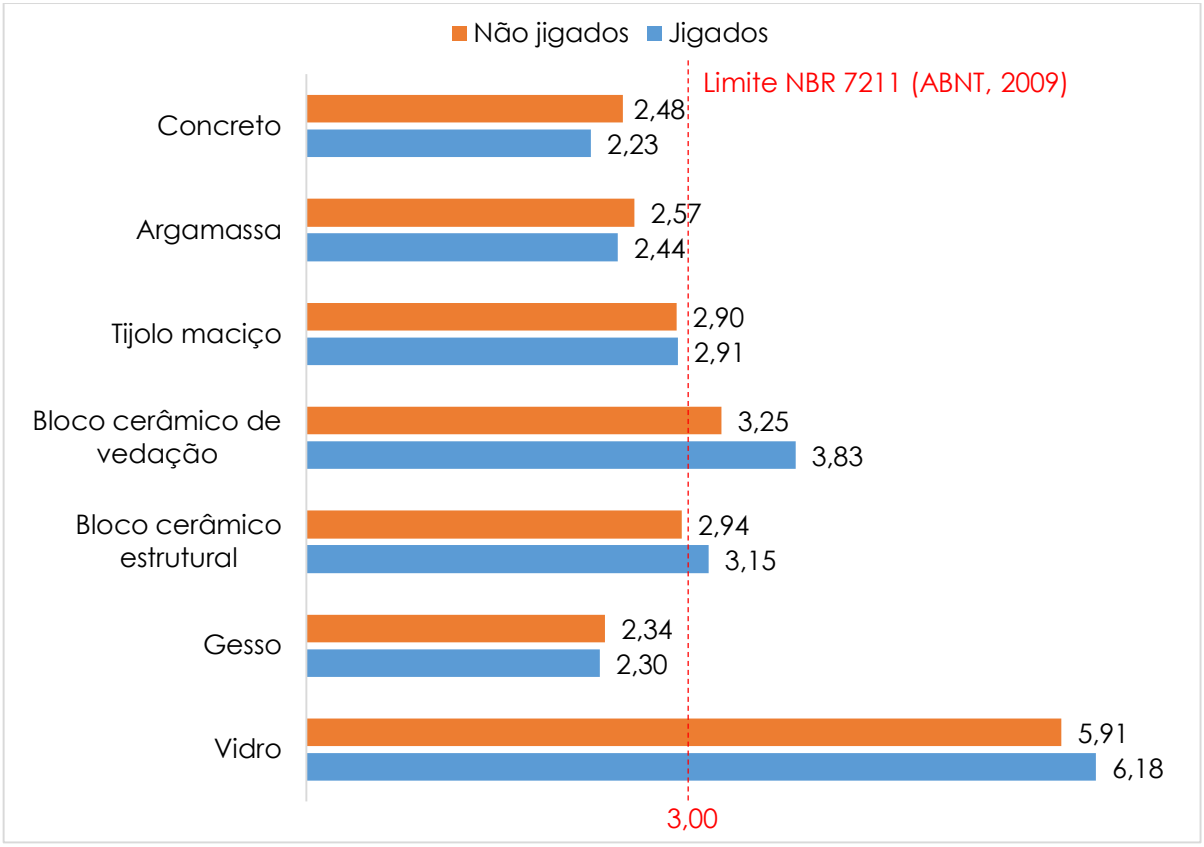
Com o intuito de avaliar a significância das variações verificadas entre os índices de forma dos agregados reciclados submetidos à jigagem e os não submetidos a esse processo de separação, realizou-se uma análise estatística com o auxílio do *software* Minitab 19. Optou-se pela análise de variância (ANOVA), adotando-se nível de significância equivalente a 0,05.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta os índices de forma obtidos para as duas situações dos agregados analisadas. Os agregados reciclados de concreto, de argamassa e de gesso tiveram uma redução no índice de forma na situação jigada. Um efeito contrário foi constatado no caso dos agregados reciclados de bloco cerâmico de vedação, de bloco cerâmico estrutural e de vidro, sendo que, para o primeiro, obteve-se a maior discrepância entre os valores de índice de forma nas duas situações analisadas, entre todas as categorias de agregados. Os agregados reciclados de tijolo maciço praticamente não apresentaram variação no índice de forma.

O gráfico da Figura 4 também mostra o limite para o índice de forma dos grãos do agregado, dado pela NBR 7211 (ABNT, 2009). A maioria dos agregados reciclados analisados apresentou índice de forma inferior ao limite, com exceção dos agregados reciclados de bloco cerâmico de vedação e de vidro (jigados e não jigados), bem como os agregados reciclados de bloco cerâmico estrutural jigados.

Figura 4 – Índices de forma dos agregados reciclados não jigados e jigados



Fonte: Os autores

A análise estatística indicou variação significativa entre os índices de forma das situações estudadas para os agregados reciclados de concreto, de argamassa, de bloco cerâmico de vedação e de bloco cerâmico estrutural. Com a jigagem, os índices de forma dos agregados reciclados de concreto e argamassa reduziram 10% e 5%, respectivamente. Já os índices de forma dos agregados reciclados de bloco cerâmico de vedação e bloco cerâmico estrutural apresentaram aumentos de 17,8% e 7,1%, respectivamente.

Ressalta-se que todos os agregados estudados, jigados e não jigados, apresentaram índice de forma superior a 2, classificando-se como alongados ou lamelares, dependendo do tipo de agregado analisado.

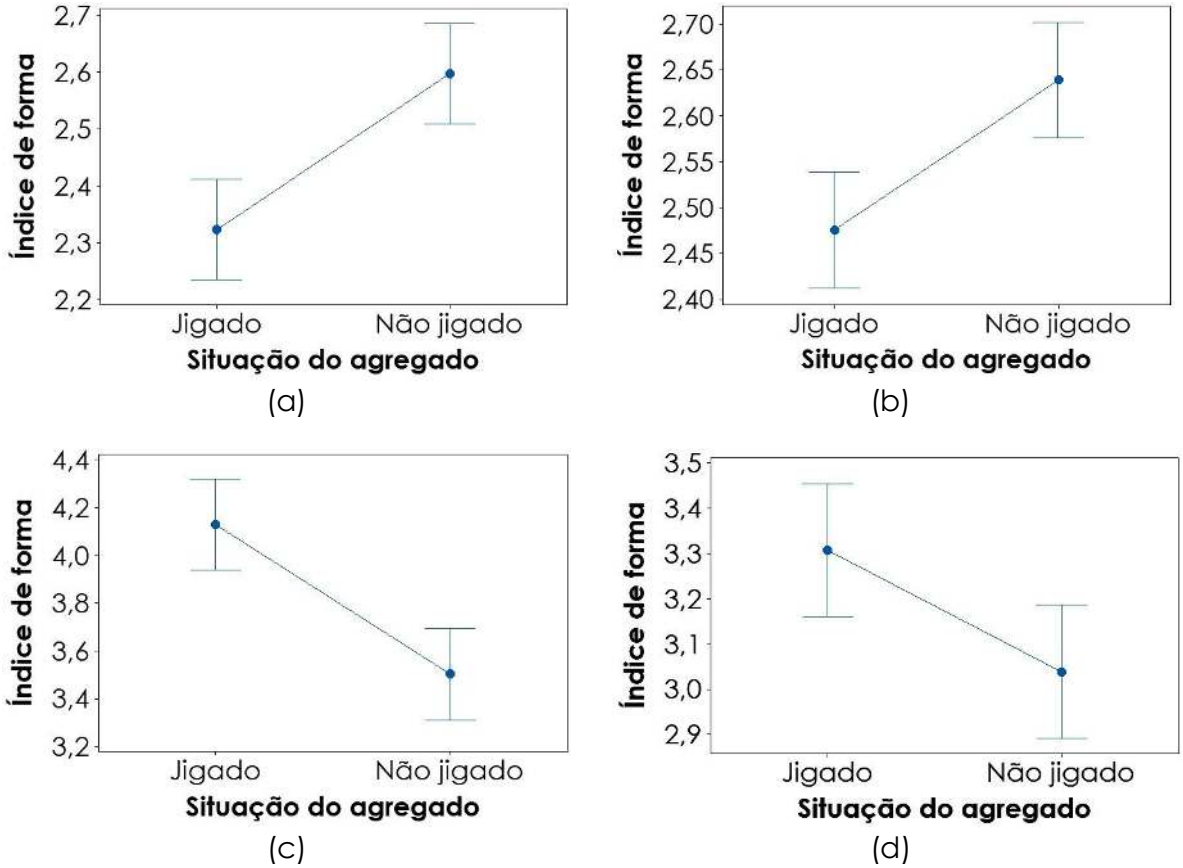
Na Figura 5 apresentam-se os gráficos obtidos no software Minitab 19, para os agregados em que o processo de jigagem influenciou significativamente no índice de forma.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a maior influência da forma dos agregados ocorre nas propriedades do concreto no estado fresco. Os autores afirmam que partículas angulosas e alongadas necessitam de mais pasta de cimento para alcançar a trabalhabilidade obtida com partículas arredondadas. De acordo com Leite (2001), a forma mais angulosa dos agregados reciclados resulta em menor trabalhabilidade do concreto, demandando maior quantidade de pasta de cimento e aumentando o seu custo. Mehta e Monteiro (2008) ainda afirmam que quanto maior a proporção de agregados alongados e achatados no concreto, maior será a tendência à exsudação interna, ou seja, acúmulo de filme de água junto à superfície do agregado, enfraquecendo a zona de transição na interface pasta-agregado.

Dessa forma, pode-se afirmar que a jigagem foi benéfica para os agregados reciclados de concreto e de argamassa, que tiveram seus índices de forma reduzidos. O contrário pode ser dito quanto aos índices de forma dos agregados reciclados de bloco cerâmico de vedação e de bloco cerâmico estrutural.

Os agregados de gesso, apesar de apresentarem baixos índice de forma comparados aos demais agregados analisados, devem ser eliminados da composição do resíduo de construção e demolição antes da britagem, pois o gesso é prejudicial ao concreto, devido a formação da etringita secundária em misturas de cimento Portland, o que pode causar fissuras no concreto (LEITE, 2001). Os resíduos de vidro também devem ser removidos antes da britagem, já que os agregados reciclados de vidro são lamelares e possuem superfície lisa, o que irá prejudicar a aderência pasta-agregado. Além disso, Rajabipour et al. (2010) relatam a ocorrência de fissuras e lascamentos em painéis de concretos produzidos com agregados graúdos de vidro, devido à reação álcali-sílica.

Figura 5 – Influência da jigagem no índice de forma dos agregados reciclados: (a) concreto; (b) argamassa; (c) bloco cerâmico de vedação; (d) bloco cerâmico estrutural.



Fonte: Os autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os agregados analisados submetidos ao processo de separação no jigue pneumático, com exceção do tijolo maciço, que teve uma variação praticamente nula, apresentaram diferenças nos índices de forma, se comparados à situação não jigada. As variações consideradas significativas estatisticamente referem-se aos

agregados reciclados de concreto, de argamassa, de bloco cerâmico de vedação e de bloco cerâmico estrutural.

Dessa forma, conclui-se que, dependendo do tipo de agregado considerado, ele pode ter seu índice de forma alterado pelo processo de separação em jigue, porém não alterando a sua forma característica, alongada ou lamelar, dependendo do tipo de agregado analisado. Assim, é possível afirmar que essas variações nos índices de forma não serão prejudiciais ao comportamento dos concretos.

REFERÊNCIAS

AMBRÓS, W. M.; SAMPAIO, C. H.; CAZACLIU, B. G.; MILTZAREK, G. L.; MIRANDA, L. R. Usage of air jigging for multi-component separation of construction and demolition waste. **Waste Management**, v. 60, p. 75-83, 2017.

AMBRÓS, W. M. **Novos aspectos da estratificação de partículas em jigues descontínuos**. 2017. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia: Tecnologia mineral, ambiental e metalurgia extrativa) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 236 p. Tese (Doutorado em Engenharia: Construção Civil e urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. 2018. Disponível em: http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em: 23 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7809:** Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOVATO, P. S. **Avaliação da influência de processos de separação de agregados reciclados de RCD em propriedades de concretos**. 2018. 80 p. Qualificação (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Construção e Infraestrutura), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.

RAJABIPOUR, F.; MARAGHECHI, H.; FISCHER, G. Investigating the alkali-silica reaction of recycled glass aggregates in concrete materials. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 22, n. 12, p. 1201-1208, dec. 2010.

SAMPAIO, C. H.; CAZACLIU, B. G.; MILTZAREK, G. L.; HUCHET, F.; GUEN, L. le.; PETTER, C. O.; PARANHOS, R.; AMBRÓS, W. M.; OLIVEIRA, M. L. S. Stratification in air jigs of concrete/brick/gypsum particles. **Construction and Building Materials**, v. 109, p. 63-72, 2016.