

UTILIZAÇÃO DE JIGUES A AR NA CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

SAMPAIO, C.H.¹, CAZACLIU, B.G.², AMBRÓS, W.M.³, CORTINA, J.L.⁴, OLIVA, J.M.¹

¹Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech, Manresa, 08242 Barcelona, Spain.

e-mail: carlos.hoffmann@upc.edu

²Université Gustave Eiffel, MAST, GPEM, Bouguenais, France.

³Mineral Processing Laboratory, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre 91501-970, Brazil.

⁴Chemical Engineering Department, Escola de Enginyeria Barcelona Est, Barcelona TECH UPC, 08019 Barcelona, Spain.

RESUMO

Resíduos de construção e demolição são um dos principais resíduos sólidos gerados em centros urbanos em todo o mundo. Normalmente, parte deles são utilizados, após cominuição e classificação granulométrica, sem nenhum processo de separação ou concentração. Eles podem ser usados como agregados em concreto de baixa resistência, em sub-bases de estradas, ou em outras utilizações com baixo valor agregado. O presente trabalho apresenta estudos de separação e concentração em jigues a ar dos diferentes materiais presentes nestes resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Jigues a ar, RCD, concreto, gesso, cerâmica vermelha.

ABSTRACT

Construction and demolition waste is one of the main solid wastes generated in urban centers around the world. Usually, part of them is used, after comminution and particle size classification, without any separation or concentration process. They can be used as aggregates in low-strength concrete, in road sub-bases, or other low value-added uses. The present work presents separation and concentration studies in air jigs of the different materials present in these residues.

KEYWORDS: Air jigs, CDW, concretes, gypsum, red ceramic.

1. INTRODUÇÃO

Resíduos de construção e demolição (RCD) são uma mistura de diferentes sólidos (Müller et al., 2008; Müller & Ângulo, 2009; Landmann et al., 2014). Seu uso, sem nenhum tratamento, geralmente é restrito a aterros sanitários, causando problemas ambientais (Sampaio et al., 2016). No entanto, parte do RCD consiste em materiais inertes que podem ser reaproveitados na engenharia civil como agregados (Medina et al., 2013). Para tal, é necessária a sua separação por espécie ou grupo de materiais com propriedades semelhantes.

Os agregados são normalmente classificados em areia (partículas com tamanho inferior a 4 mm) e agregados grosseiros (tamanho de partículas entre 20 mm e 4 ou 2 mm). Essas misturas granulares, denominadas agregados reciclados, são comumente usadas em camadas de sub-base de estradas com bons resultados. A legislação europeia cada vez mais requer novos destinos para os RCD. A questão mais promissora parece ser o uso de agregado reciclado grosso em uma nova formulação de concretos (Tam, 2008; Oikonomou, 2005; Kou et al., 2012; Richardson, 2010), que pode reduzir os resíduos gerados e pode responder à crescente demanda por agregados.

Os concretos produzidos com rochas britadas apresentam maior resistência mecânica quando comparados aos concretos produzidos com RCD. Para compensar, há a adição de mais cimento, o que aumenta os custos econômicos e ambientais.

Uma restrição importante do uso de RCD é o fato de que em ambas as aplicações principais, material de base e novos concretos, o teor de gesso é altamente restrito a um máximo de cerca de 1%. As plantas de preparação de RCD não aceitam restos de gesso, mas o controle é apenas visual e nem sempre eficaz. Dessa forma, o risco associado ao uso de RCD em concretos novos é alto, devido à possível presença de partículas de gesso. Esta é a principal limitação da aplicação de agregados reciclados em novos concretos.

Uma maneira razoável de melhorar a qualidade do RCD é a classificação e concentração por tipo de material, que pode ser realizada por diferentes tipos de equipamento. O equipamento mais usado para concentrar partículas de RCD são os jigsawes convencionais, com utilização de água como meio de separação. Com o preço cada vez mais alto da água (tratamento e reciclagem de água, uso de água nova etc.), os jigsawes a ar estão cada vez mais se tornando uma opção factível.

A estratificação em um leito pulsante de partículas pode ser explicada pela teoria da Energia Potencial. Um leito de partículas formado por esferas do mesmo tamanho e densidades diferentes apresenta menor energia potencial no leito estratificado (aumento da densidade do topo para a base) do que no leito de partículas totalmente misturadas. A estratificação permite um rebaixamento do centro de gravidade do leito e conseqüentemente reduz sua energia potencial. Assim, a estratificação pode ser encarada como um problema termodinâmico. A expansão e compactação do leito de partículas (ciclo de jigagem) não promove a estratificação, mas cria as condições para que o leito estratifique e, assim, diminua sua energia potencial.

A teoria descreve também que um leito de partículas de diferentes tamanhos, formas e densidades será misturado de tal forma que ocorra o maior rebaixamento possível de seu centro de gravidade e, conseqüentemente, a menor energia potencial possível.

A variação da energia potencial (diferença do leito misto e estratificado) também é função da cinética do processo. Assim, quanto maior a diferença de densidade entre as

partículas, maior é a cinética de separação. O leito de partículas, entretanto, nunca atinge sua estratificação máxima.

O processo de expansão e compactação (ciclo de jigagem), que libera energia potencial para níveis inferiores, requer movimento do leito, o que gera remistura das partículas (Tavares, 1999). Essa instabilidade ocorre até que o leito atinja o equilíbrio, com a energia potencial tendendo a estratificar o leito e o ciclo de jigagem promovendo a remistura.

No processamento mineral, uma forma de estimar se um leito de partículas pode ser estratificado é o critério de concentração (CC) (Taggart, 1945), que é uma relação entre as densidades de duas partículas a serem separadas, descontando a força de empuxo. Se o CC for um número grande, a diferença de densidade entre as partículas é grande. Assim, haverá uma diminuição maior da energia potencial, facilitando a estratificação. Partículas com densidades mais próximas serão mais difíceis de serem estratificadas do que partículas com diferenças de densidade maiores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Os testes de jigagem foram realizados com os seguintes materiais: partículas de concreto (30 Mpa em 28 dias), partículas de tijolo (cerâmica vermelha – tijolos de 8 furos), e partículas de gesso. O gesso foi obtido a partir de blocos de gesso cominuídos. As partículas utilizadas nos testes foram obtidas a partir de amostras trituradas de materiais sólidos, sem a presença de contaminantes. Nenhuma amostra real de demolições foi usada. Os testes de jigagem foram conduzidos com partículas com tamanho de 4x20 mm, faixa considerada típica para o tamanho de agregados reciclados grosseiros. Este tamanho de partícula (4x20 mm) é adequado e amplamente utilizado para a reciclagem de agregados.

2.2. JIGUE A AR

Os testes de jigagem foram realizados em jigue escala piloto, modelo AllAir® S-500 da empresa AllMineral. A câmara do jigue é montada com diferentes seções retangulares de Plexiglass (500 × 500 × 50/25 mm), encaixadas uma sobre a outra em uma placa perfurada ($\varnothing = 1$ mm) para a passagem de ar. O conjunto de seções de separação possibilitou a extração dos leitos de partículas camada por camada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. TESTES DE JIGAGEM

Todos os testes de jigagem foram realizados em bateladas. O equipamento simula a estratificação que ocorre dentro de um jigue contínuo. Um jigue industrial promove ao longo do equipamento diversas expansões e contrações do leito de partículas, que podem ser simuladas no jigue de laboratório.

Amostras de cerca de 39 kg de partículas misturadas foram primeiramente obtidas de 53% de partículas de concreto, 27% de partículas de tijolo e 20% de partículas de gesso, em massa. A amostra de partículas misturadas é colocada no jigue para ser estratificada. A

quantidade de cada material (concreto, tijolo ou gesso) foi escolhido para preencher completamente uma câmara após uma hipotética separação perfeita das três espécies de partículas.

Uma vez que as partículas foram estratificadas após a jigagem, as câmaras foram removidas separadamente. As partículas dentro de cada câmara - Inferior, Média e Superior - foram separadas manualmente e pesadas. Para cada ensaio de jigagem, foi determinada a porcentagem em peso de concreto, tijolo e gesso dentro de cada câmara (Inferior, Média e Superior). A caixa ou câmara próxima ao fundo do jigge de ar foi chamada de camada inferior; a caixa ou câmara no meio, camada intermediária; e a caixa ou câmara no topo, camada superior.

3.2. ESTRATIFICAÇÃO GERAL

A Figura 1 (Sampaio et al., 2016) mostra que a mistura é estratificada de acordo com a seguinte distribuição: i. O concreto preenche principalmente a camada inferior (cerca de 80-90%), alvenaria a camada intermediária (40-60%) e gesso a camada superior (cerca de 60-80%). Todas essas concentrações são significativamente mais altas do que a composição média nos constituintes correspondentes; ii. Dentre essas concentrações após a jigagem, o tijolo da camada intermediária é caracterizado por menor concentração. Isso é explicado pela presença de partículas de tijolo não segregadas nas camadas Inferior e Superior; e iii. A baixa quantidade de gesso na camada inferior, bem como a alta quantidade de gesso na camada superior dá uma boa perspectiva para futura aplicação industrial.

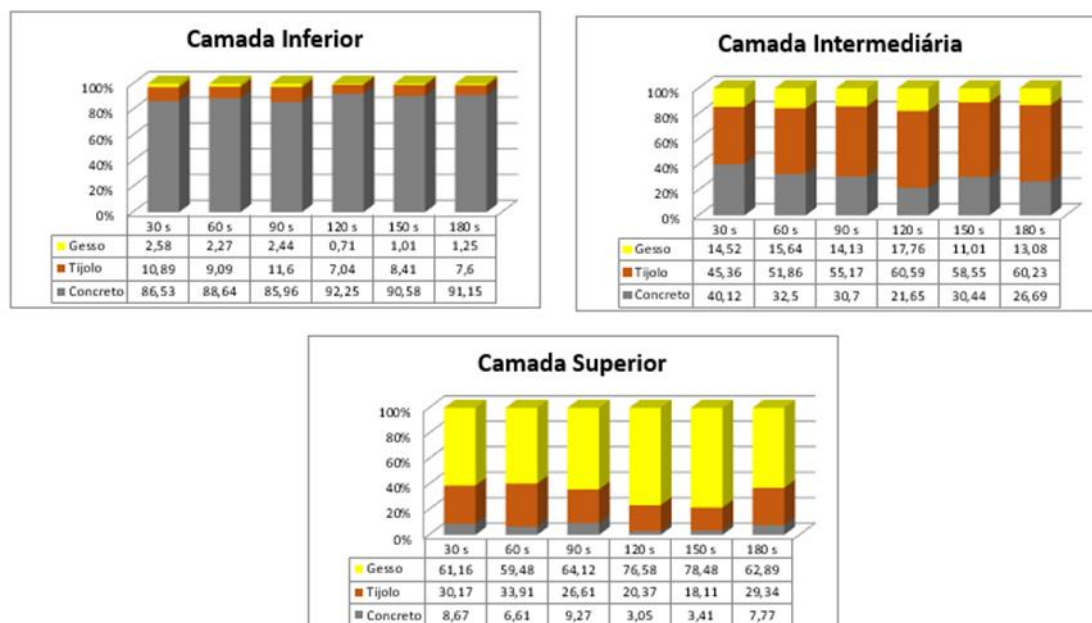


Figura 1. Porcentagem em massa de concreto, tijolo e gesso nas camadas Inferior (a), Médio (b) e Superior (c) função do tempo de jigagem (Sampaio et al., 2016).

3.3. INFLUÊNCIA DA FREQUÊNCIA E TAXA DE EXPANSÃO

A Figura 2 (Sampaio et al., 2016) mostra a porcentagem em massa de Concreto, Tijolo e Gesso nas camadas Inferior, Média e Superior para três das frequências de jigagem: 150 cpm, 160 cpm e 170 cpm. Nestes testes todos os outros parâmetros experimentais são

mantidos constantes: mesma composição da mistura dos testes anteriores, tempo de jigagem 120 s, taxa de expansão 70%. O efeito da frequência pode ser bem observado na camada Superior (Figura 6c), onde a proporção de gesso aumenta com as altas frequências, enquanto o concreto e o tijolo diminuem. De fato, até um determinado nível, espera-se que o aumento da frequência torne mais fácil o movimento das partículas para cima e para baixo.

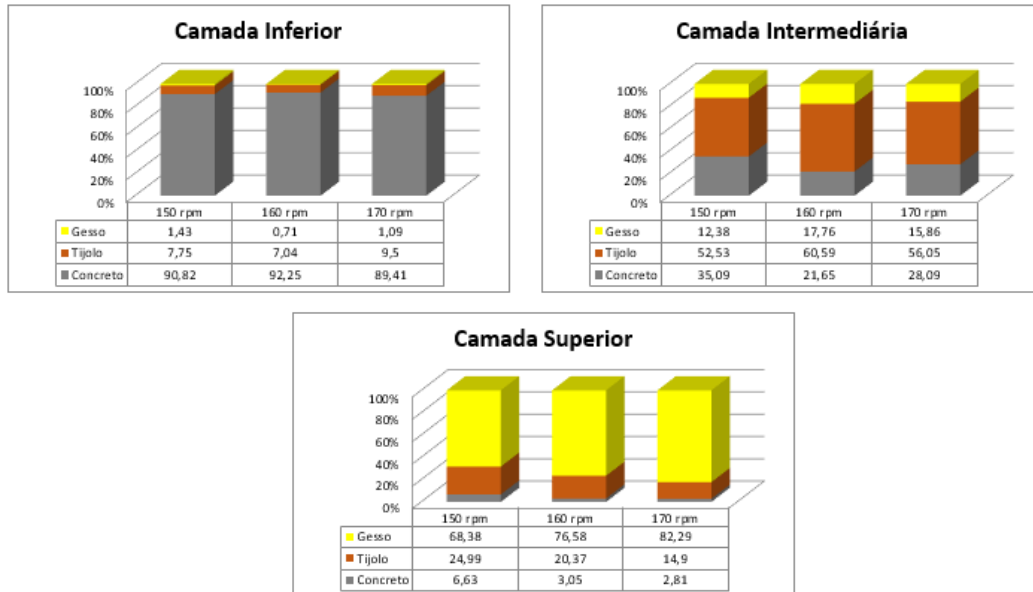


Figura 2. Porcentagem de concreto, tijolo e gesso nas camadas Inferior (a), Médio (b) e Superior (c) em função da frequência de jigagem (150, 160 e 170 rpm) (Sampaio et al., 2016).

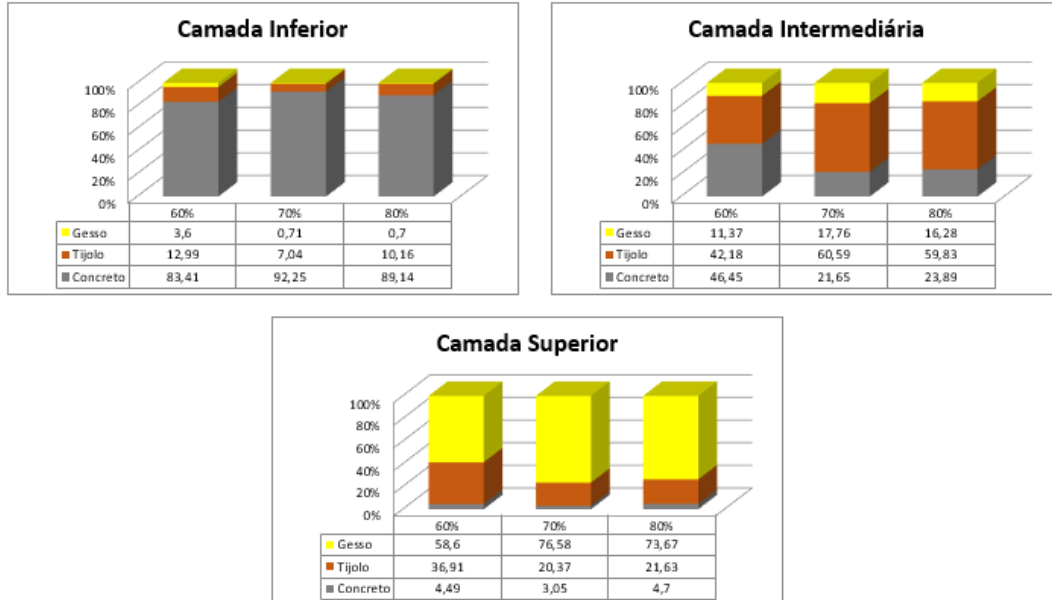


Figura 3. Porcentagem de concreto, tijolo e gesso nas camadas Inferior (a), Médio (b) e Superior (c) função da expansão do leito de partículas (60%, 70% e 80% da capacidade do ventilador) (Sampaio et al., 2016).

A influência da taxa de expansão de jigagem foi analisada testando três razões, 60%, 70% e 80%, mantendo as outras constantes de parâmetros de jigagem: mesma composição da mistura como nos testes anteriores, tempo de jigagem 120 s, frequência 160 cpm (Figura 3) (Sampaio et al., 2016). A Figura mostra a porcentagem de concreto, tijolo e gesso nas camadas Inferior, Média e Superior em função da taxa de expansão. Pode-se observar que um

aumento na taxa de expansão de 60% para 70% produz melhora significativa da estratificação. O novo aumento da taxa de expansão para 80% não produz benefícios na estratificação. Parece que pressões de ar acima de 70% aumentam a remistura. Isso pode ser observado em todos os tipos de partículas em todas as camadas. Na verdade, a expansão da camada de partículas é realizada através da pressão do ar de entrada. Com altas pressões de ar, um sistema muito turbulento é alcançado, o que potencialmente aumenta as remisturas de partículas.

3.4. INFLUÊNCIA DO PONTO DE CORTE

O ponto de corte ou densidade de corte é a interface onde ocorre a separação de partículas, em produtos “Flutuado” e “Afundado” (densidades de produtos menores e maiores do que a densidade de corte). Neste caso, é a interface de 2 câmaras do jig, uma vez que partículas de diferentes densidades preencheram completamente uma seção do jig. Tromp descreve o ponto de corte, como a densidade de uma partícula que tem 50% de chance de estar no Flutuado ou no Afundado. Isso acontece com partículas que apresentam distribuição de densidade. No caso de uma mistura binária de 2 partículas de mesmo tamanho e densidades diferentes, após a estratificação, no ponto de corte a interface apresenta partículas completamente misturadas, devido à imperfeição da estratificação. O mesmo acontece neste trabalho, onde existem 3 câmaras de jig, completamente preenchidas, antes dos testes de jigagem, com 3 partículas diferentes (3 densidades diferentes). Após a estratificação, a região mais próxima às interfaces das câmaras apresenta as partículas mais mistas.

Para se alcançar produtos densos mais puros (partículas de concreto), a interface de corte entre as partículas de concreto e tijolo foi alterada, pela adição de uma quantidade maior de partículas de concreto. A quantidade de partículas de concreto era maior do que a necessária para encher completamente a câmara do jig próximo ao fundo. Como consequência, a interface de corte entre as partículas foi aumentada. Desta forma, a separação das partículas através das câmaras do jig pode ser realizada em uma posição mais baixa do que o ponto de corte das partículas.

Foram realizados dois ensaios complementares, aumentando a quantidade de partículas de concreto. No primeiro teste, foram adicionados 1,5 kg de partículas de concreto (21,86 kg de partículas de concreto na alimentação) e no segundo teste 5,75 kg (26,11 kg de partículas de concreto na alimentação) (Sampaio et al., 2016). Os resultados não mostram influência significativa da interface de separação na composição do concreto e tijolo na camada inferior após a jigagem. Apesar da configuração vantajosa dos ensaios com maiores quantidades de concreto, a concentração de concreto da camada Inferior não foi melhorada e permaneceu praticamente constante, em seu nível máximo. O teor de partículas de concreto no entanto apresenta valores acima de 90%. Esses concentrados podem ser reciclados na indústria da construção. No entanto, pode-se observar que o conteúdo de gesso na camada inferior estratificada foi significativamente diminuído. Isso deveria estar associado à diminuição do teor de gesso na ração e foi verificado por um segundo conjunto de testes complementares.

3.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os materiais de demolição, que são gerados em enormes quantidades em todo o mundo, podem ser tratados como um simples problema de tratamento de minério, com

possibilidades de separação razoáveis. Processos de classificação eficientes de agregado reciclado de RCD de baixa qualidade podem permitir a reutilização de partículas de concreto, tijolo e gesso. Os processos também melhoram os agregados mistos restantes para reciclagem em materiais de sub-base não ligados, aumentando suas propriedades de autocura e reduzindo o teor de sulfato.

4. CONCLUSÕES

Os materiais de demolição podem ser tratados como um problema simples de tratamento de minério, com possibilidades de separação razoáveis.

Processos de classificação eficientes de agregado reciclado de RCD de baixa qualidade podem permitir a reutilização de partículas de concreto, tijolo e gesso.

É possível separar o gesso das partículas de concreto e tijolo, com tamanho variando de 4 a 20 mm, em jiges a ar, devido à diferença de densidades aparentes e densidades de partículas dos materiais.

Concentrados (câmara inferior do jigue) com teores de concreto maiores que 90% e teores de gesso menores que 1% foram alcançados.

A redução de gesso em concentrados de concreto foi cerca de 25 vezes. Este nível de redução pode ser satisfatório na classificação de agregados reais de Resíduos de Construção e Demolição. Concentrados com densidades mais baixas apresentam mais de 70% de partículas de gesso.

Todos os materiais (concreto, tijolos e gesso) utilizados neste trabalho foram originados pela cominuição de amostras individuais. Nenhum meio (partículas com diferentes constituintes) foi usado nos testes. Com materiais de demolição reais haverá a presença de médios, o que proporciona novas dificuldades de separação física.

Resultados encorajadores foram alcançados neste trabalho, que mostram que a precisão da concentração pode ser melhorada.

Embora os ensaios realizados neste trabalho tenham sido feitos com um jigue a ar, que apresenta uma imperfeição de Tromp maior que os jiges a água, pode-se observar que os resultados de concentração de gesso na camada superior (câmara superior do jigue), ou concentração de concreto na camada inferior (câmara inferior do jigue), são bastante semelhantes aos apresentados na literatura.

5. AGRADECIMENTOS

Projeto financiado por Capes-Cofecub Re-Maud.

6. REFERÊNCIAS

Kou, S.C.; Zhan, B.J.; Poon, C.S. Properties of partition wall blocks prepared with fresh concrete wastes. *Constr. Build. Mater.* 2012, 36, 566–571.

Landmann, M.; Müller, A.; Palzer, U.; Leydolph, B. Limitations of Liberation Techniques for Mineral Construction and Demolition Wastes. In Proceedings of the EURASIA 2014, Waste Management Symposium, Istanbul, Turkey, 28–30 April 2014.

Müller, A.; Angulo, S.C. Determination of construction and demolition recycled aggregates composition, in considering their heterogeneity. *Mater. Struct.* 2009, 42, 739–748.

Müller, A.; Sokolova, S.N.; Vereshagin, V.I. Characteristics of lightweight aggregates from primary and recycled raw materials. *Constr. Build. Mater.* 2008, 22, 703–712.

Oikonomou, N.D. Recycled concrete aggregates. *Cem. Concr. Compos.* 2005, 27, 315–318.

Richardson, A. Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement. *Struct. Surv.* 2010, 28, 142–148.

Sampaio, C.H.; Cazacliu, B.; Miltzarek, G.L.; Huchet, F.; Guen, C.O.P.L.; Petter, C.O.; Paranhos, R.; Ambrós, W.M.; Oliveira, M.L.S. Stratification in air jigs of concrete/brick/gypsum particles. *Constr. Build. Mater.* 2016, 109, 63–72.

Taggart AF (ed.) (1945) *Handbook of Mineral Dressing: Ores and Industrial Minerals*. Austin: John Wiley & Sons.

Tam, V.W.Y. Economic comparison of concrete recycling: A case study approach. *Resour. Conserv. Recycl.* 2008, 52, 821–828.

Tavares LM (1999) Monte Carlo simulations on the potential energy theory of jigging. *Coal Preparation* 20: 71–83.