



## INFLUÊNCIA DO USO DO JIGUE À ÁGUA NAS PROPRIEDADES DOS AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS DE RCD

**Luciana Vanni Frantz <sup>(1)</sup>; Iago Lopes dos Santos <sup>(2)</sup>;  
Angela Borges Masuero <sup>(3)</sup>**

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - lucianavfrantz@gmail.com;

(2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - iago.lopes.santos@gmail.com;

(3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - angela.masuero@ufrgs.br

### RESUMO

Diversas pesquisas evidenciam a possibilidade de utilização de resíduos oriundos de construção e demolição (RCD) de obras de engenharia na forma de agregado graúdo reciclado. Contudo, a grande heterogeneidade deste material implica na significativa variabilidade de suas propriedades, bem como nas propriedades dos concretos com eles produzidos, o que dificulta a normatização para uso em grande escala. Assim sendo, diferentes formas de processamento e beneficiamento de agregados de RCD vêm sendo estudadas, com o intuito de reduzir essa variabilidade. Dentre os principais métodos, encontra-se a separação por densidade através do uso do jigue à água, equipamento bastante difundido na indústria da mineração e que é visto como potencial agente de beneficiamento de RCD no setor da construção civil. Este trabalho pretende caracterizar agregados graúdos reciclados de RCD coletados de uma usina de reciclagem em Porto Alegre visando a produção de concretos, bem como avaliar a eficiência do processo de jigagem para esses materiais. Deste modo, foram realizados os ensaios de massa específica, massa unitária, absorção de água e analisada a composição dos agregados presentes na camada superior e inferior do jigue, comparando-os com os agregados que não foram submetidos à jigagem. De maneira geral, o processo de jigagem se mostrou eficiente na melhoria das propriedades avaliadas dos agregados, com significativo potencial de aplicação em larga escala para processamento de RCD.

**Palavras-chave:** resíduo de construção e demolição, agregados graúdos reciclados, jigagem.

### INFLUENCE OF WATER JIG USE IN THE PROPERTIES OF CDW COARSE RECYCLED AGGREGATE

#### ABSTRACT

Many researches emphasize the possibility of waste deriving of construction and demolition (CDW) from engineering works use as a coarse recycled aggregate. However, the big heterogeneity of this material involves its substantial properties variability as well as the properties of concretes produced with them, which hamper the standardization for large scale use. Therefore, different processing and CDW aggregates beneficiation forms has been studied in order to reduce this variability. Among the



main methods, there is the density separation with water jig use, a well diffused equipment in mining industry and which is seen as a potential CDW beneficiation agent in civil construction sector. This job intends to characterize CDW coarse recycled aggregate collected in a recycling plant in Porto Alegre aiming at concrete production, as well as assess the efficiency of jiggling process for these materials. Hence, the specific mass, the single mass and the water absorption tests besides the aggregate composition of the upper and the lower jig layers, comparing them with the aggregate that were not submitted to jiggling. In general, the jiggling process proved to be efficient in the improvement of assessed aggregates properties, with significative potential to be applied in large scale to CDW processing.

**Keywords:** construction and demolition waste, coarse recycled aggregate, jiggling process.

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2015, foram gerados 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, de acordo com dados da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS <sup>(1)</sup>, sendo que 70% desses resíduos foram gerados de processos construtivos ou de demolição, segundo o SINDICATO DA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL <sup>(2)</sup>. Quase a totalidade desse alarmante volume é depositada em aterros sanitários comuns dos municípios ou até descartada irregularmente na natureza, causando prejuízo ambiental.

Os impactos da construção civil são uma problemática ampla e generalizada em todo o mundo e a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) é uma das melhores alternativas para amenizá-los, visto que se diminui o volume de resíduos sólidos depositados nos aterros e a extração de matérias primas não renováveis. Além disso, o ato de reciclar propicia uma diminuição de descartes clandestinos, um crescimento de vida útil dos aterros e, conseqüentemente, uma redução de custos de gerenciamentos de resíduos <sup>(3)</sup>. Porém, em 2015, de acordo com o relatório da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO <sup>(4)</sup>, apenas 6,14% dos RCD tiveram algum tipo de reaproveitamento no nosso país, sendo desperdiçada a maior parte desses materiais que comprovadamente podem ser reutilizados.

A grande barreira para a normatização e aproveitamento desses materiais a larga escala se deve a imensa heterogeneidade de seus componentes, o que, por consequência, ocasiona a significativa variabilidade de suas propriedades, bem como nas propriedades dos concretos com eles produzidos. Para isso, diferentes formas de processamento e beneficiamento têm sido aplicadas com o intuito de se ter um maior conhecimento de suas propriedades para uma aplicação mais segura e eficaz em processos construtivos.

Diferentes métodos para selecionar rapidamente um percentual significativo dos materiais mais nobres, que possuem melhor qualidade e podem ser usados em substituição ao agregado graúdo natural em concretos estruturais, têm sido testados para o estudo de uso em larga escala. Um desses métodos é a jigagem com o uso do jigue à água, bastante difundido na mineração, mas que atualmente também é considerado como um potencial mecanismo de beneficiamento dos agregados reciclados. O equipamento separa por diferença de densidade os componentes do resíduo,



depositando o material com maior densidade na parte inferior, sendo este considerado de melhor qualidade.

Para a finalidade desta pesquisa, foram separadas diferentes gavetas de RCD jigado a fim de comparar, através alguns ensaios de determinação de características físicas, os materiais estratificados com outros que não passaram pelo processo de jigagem, avaliando, assim, a eficácia deste processo para beneficiamento de agregados reciclados e determinando suas garantias de desempenho na construção civil.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

Nesta pesquisa foi utilizado um agregado reciclado de construção e demolição proveniente de um aterro localizado no município de Porto Alegre. Estes foram peneirados e utilizados aqueles presentes na faixa granulométrica entre 4,8 e 19 mm, devido estar dentro faixa operacional do jigue hidráulico. Para sua caracterização tomou-se por base a massa específica de  $2,49 \text{ g/cm}^3$  seguindo o método proposto por Leite <sup>(3)</sup>, a massa unitária de  $1,14 \text{ g/cm}^3$ , conforme normativa NBR NM 45 <sup>(5)</sup>, massa, o módulo de finura deste agregado é de 6,62 de acordo com a NBR NM 248 <sup>(6)</sup> e absorção de água de 10,11% proposto por Leite <sup>(7)</sup>.

### 2.2. Métodos

#### 2.2.1. Separação por densidade através de jigue à água

Este trabalho visa estudar a influência da jigagem nas principais propriedades dos agregados graúdos reciclados de RCD. Assim, a separação gravimétrica dos agregados ocorreu através de um jigue hidráulico, modelo AllJig S-400 (figura 1-A). Este equipamento possui duas seções distintas, sendo uma para disposição das bandejas de separação (figura 1-B) e a outra responsável pela pulsação de ar, o qual movimenta as bandejas da primeira seção. Enquanto um fluxo contínuo mantém o leito em um estado pré-expandido, um fluxo pulsátil promove sucessivos golpes de dilatação e compactação do leito, segregando partículas de diferentes densidades devido à relativa movimentação vertical dos grãos em resposta à ação combinada da força de arrasto (movimento ascendente) e da força de gravidade (movimento descendente). Os parâmetros de controle de jigagem foram definidos em: tempo de jigagem de 2 min e frequência de pulso de 80 RPM (rotações por minuto). O jigue utilizado na pesquisa tem capacidade de 25 kg por lote de material de faixa granulométrica de 1 a 19 mm. O volume de material utilizado por jigagem permitiu o preenchimento de três gavetas de 5 cm e duas gavetas de 2,5 cm de altura, conforme observado na figura 1-C.

Para esta pesquisa foi avaliada a real influência do processo de jigagem no que tange às propriedades dos agregados jigados da camada inferior e superior, comparando-as com os agregados de referência que não foram submetidos a separação por densidade. Desta forma, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização do agregado de RCD: composição do RCD, massa específica, massa unitária, absorção de água.



Figura 1 – (A) jigue hidráulico, (B) gavetas e (C) camadas analisadas no estudo.



### 2.2.2. Determinação da composição do RCD

Como se trata de um ensaio não normatizado, o procedimento adotado foi uma análise visual dos agregados reciclados, que foram separados em três amostras de aproximadamente 1,5 kg e entregues para três pessoas diferentes realizarem a classificação. Esse método torna a avaliação dos grãos subjetiva a cada pessoa, sendo, portanto, feita uma média de todos os resultados ao final do processo, assim obtendo a composição de cada camada do jigue.

### 2.2.3. Determinação da massa específica

O ensaio de determinação da Massa Específica dos agregados de RCD das camadas inferior e superior do jigue e dos materiais não jigados foi feito de acordo com o proposto por Leite <sup>(3)</sup>, cuja aparelhagem indicada é uma balança com resolução de 0,01g, uma bomba de vácuo (com registros, vacuômetro e conexões que deve ser capaz de aplicar um vácuo de 88 kPa), um picnômetro e uma placa de vidro.

A preparação para o ensaio consiste em submeter os agregados de cada amostra a um processo que dura 3 dias. Primeiramente, seca-se a amostra em estufa a temperatura entre 105 e 110°C por 24 horas para, depois de resfriada, pesar-se a sua massa, que deve ser em torno de 1000g (C).

Com isso, se coloca a amostra no picnômetro com água à temperatura ambiente, sem preenchê-lo completamente, e por fim, se deixa o recipiente tampado com a placa de vidro em repouso por mais 24 horas conforme figura 2.

Figura 2 - Picnômetro com água e amostra tampado com a placa de vidro.





Posteriormente, se aplica vácuo no conjunto durante 15 minutos com o uso da bomba de vácuo, agitando cuidadosamente para retirar o ar aprisionado entre os grãos do agregado. Acrescenta-se água à temperatura ambiente no recipiente até preenchê-lo completamente e tampando-o com a placa de vidro sem que haja nenhuma bolha de ar aprisionada. Para determinar a massa do conjunto recipiente+água+placa de vidro+amostra (A), primeiramente se tem o cuidado de secar externamente o recipiente. Feita a pesagem, se retira a amostra, se lava o recipiente e se preenche-o completamente com água, colocando sobre ele a placa de vidro também de forma a não haver bolhas de ar aprisionadas e também tendo o cuidado de secar externamente o recipiente, para então pesar o conjunto recipiente+água+placa de vidro (B).

A massa específica será calculada pela equação (A):

$$\gamma = \frac{C}{B-A+C} \quad (A)$$

Onde:

$\gamma$  = Massa específica do agregado graúdo, expressa em kg/dm<sup>3</sup> ou g/cm<sup>3</sup>;

A = Massa da amostra+recipiente+água+placa de vidro, expressa em g;

B = Massa do recipiente+água+placa de vidro, expressa em g;

C = Massa da amostra seca em estufa, expressa em g.

#### 2.2.4. Determinação da massa unitária

As massas unitárias das amostras de RCD foram determinadas de acordo com o método A da NBR NM 45 <sup>(5)</sup>, que indica secar a amostra em estufa por 24 horas entre temperaturas de 105 e 110°C para então se preencher um recipiente com massa e volume conhecidos em 3 camadas, aplicando 25 golpes com uma haste em cada camada e, logo após, nivelando a borda com régua metálica para garantir o total preenchimento do agregado. Com isso, se determina a massa da amostra e se calcula a massa unitária conforme a equação (B):

$$\rho = m/V \quad (B)$$

Onde:

$\rho$  = Massa unitária do agregado, em kg/m<sup>3</sup>

$m$  = Massa da amostra, em kg;

$V$  = Volume do recipiente, em m<sup>3</sup>.

#### 2.2.5. Determinação da absorção de água

O ensaio para se obter a curva de absorção de água para os agregados de RCD segue o proposto por Leite <sup>(7)</sup>, cuja aparelhagem indicada é uma balança com resolução de 0,01g, um dispositivo para manter suspenso o recipiente com a amostra na água, fixado no centro da balança e um recipiente metálico com uma tela de fios metálicos, que contorne toda a sua extensão, e que contenha suportes laterais para que possa ser suspenso por haste do dispositivo fixado no centro da balança, como mostra a figura 3.



Figura 3 - Aparelhagem para o ensaio de absorção de água.



Antes do teste é preciso secar a amostra por 24 horas em estufa à temperatura entre 105 e 110°C e deixá-la resfriar ao ar à temperatura ambiente, para então pesar uma quantidade de material seca e fria numa faixa em torno de 1000 e 1500 g, para não ultrapassar a capacidade máxima da balança, que é de 2 kg.

Primeiramente se tara a balança com o recipiente metálico e manta submersos e para realizar o ensaio se coloca a amostra seca nesse recipiente se submerge o conjunto cuidadosamente em água à temperatura ambiente, começando então a marcar o tempo. Executa-se a primeira leitura da massa do conjunto 60 segundos após a imersão, tempo considerado necessário para que haja uma certa estabilização da leitura da massa. As leituras consecutivas do ganho de massa são feitas em intervalos pré-determinados durante 24 horas e, antes da realização de cada leitura, o material deve ser cuidadosamente agitado para facilitar a saída do ar aprisionado entre as partículas de agregados.

Para calcular a taxa de absorção se constrói o gráfico de absorção de água percentual em função do tempo em minutos, aplicando-se a expressão (C):

$$An(\%) = \frac{A(g)_n}{A(g)_{24h}} \times 100 \quad (C)$$

Onde:

$An(\%)$  = Absorção de água percentual no instante n;

$A(g)_n$  = Massa de água absorvida até o instante n, em g;

$A(g)_{24h}$  = Massa de água absorvida em 24 horas de ensaio, em g.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Determinação da Composição dos Agregados

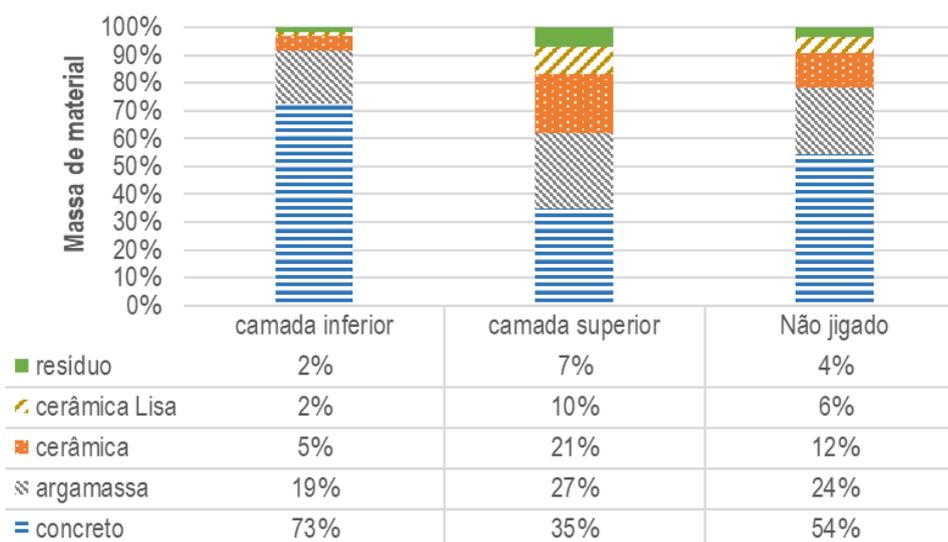
O RCD é todo resíduo gerado de reforma, escavação ou demolição e, normalmente, compreendem materiais inertes (concretos, cerâmicas, tijolos, telhas, entre outros), com quantidades menores de outros componentes, como a madeira, vidro, gesso, misturas betuminosas, entre outros<sup>(8)</sup>. O principal entrave para utilização do agregado reciclado de RCD em concreto é a grande heterogeneidade da sua composição, uma vez que o setor da construção engloba diversos tipos de sistemas construtivos,



a variabilidade dos materiais está intrínseca no seu meio e sua separação total seria praticamente impossível <sup>(3)</sup>.

Assim, foi realizado o ensaio de composição para identificar os principais constituintes do agregado coletado para o estudo. Percebe-se em sua composição: concretos, argamassas, agregados cerâmicos e alguns resíduos. Foram obtidas porcentagens de massa para cada material presente na amostra em relação à massa total ensaiada para determinação da composição específica do RCD. A figura 4 apresenta as porcentagens da composição dos agregados de RCD antes e após serem submetidos a separação por densidade através do jigge à água.

Figura 4 - Composição dos RCD nas camadas inferior e superior do jigge e antes da jigagem.



Observa-se que houve a separação dos componentes do RCD quando foram sujeitos ao processo de jigagem hidráulica, com maior fração de agregados mais densos na camada inferior do jigge e os menos densos na camada superior. Inicialmente, o percentual de concreto era de 54% e após serem submetidos a jigagem este passou a 73% na camada inferior, por ser o material mais denso na amostra. A quantidade de material cerâmico antes da jigagem era de 18% e após a concentração gravítica se estabeleceu em apenas 7%. Já a argamassa, por sua densidade ser considerada intermediária, dentre os demais constituintes, o processo de jigagem se mostrou menos eficiente, porém não menos importante, reduzindo de 24 % para 19%. Desta forma percebe-se a eficiência do processo de jigagem na separação dos componentes do RCD mostrando-se como uma alternativa de obter agregados mais nobre para produção de concretos.

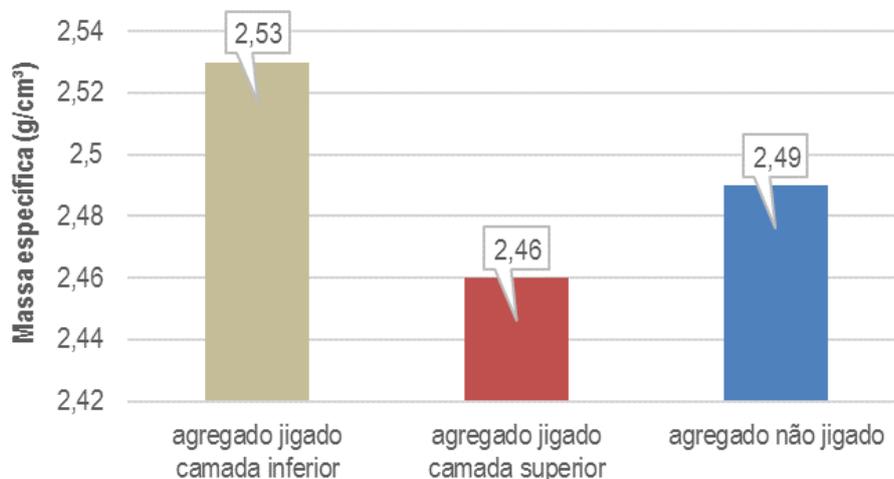
### 3.2. Determinação da Massa Específica

A massa específica é uma propriedade de suma importância devido a sua significativa influência nas propriedades do concreto. Para realização de uma dosagem de concreto, a determinação da massa específica dos materiais constituintes é importante para calcular o consumo dos materiais da mistura. A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros internos.



Para este estudo foi adotada a metodologia proposta por Leite <sup>(3)</sup> por ser a habitualmente utilizada para agregados graúdos de RCD. Os resultados dos ensaios de massa específica dos agregados de RCD antes e após a jigagem estão descritos na figura 5.

Figura 5 - Massa específica dos agregados de RCD não jigados e da camada inferior e superior após serem submetidos a jigagem.



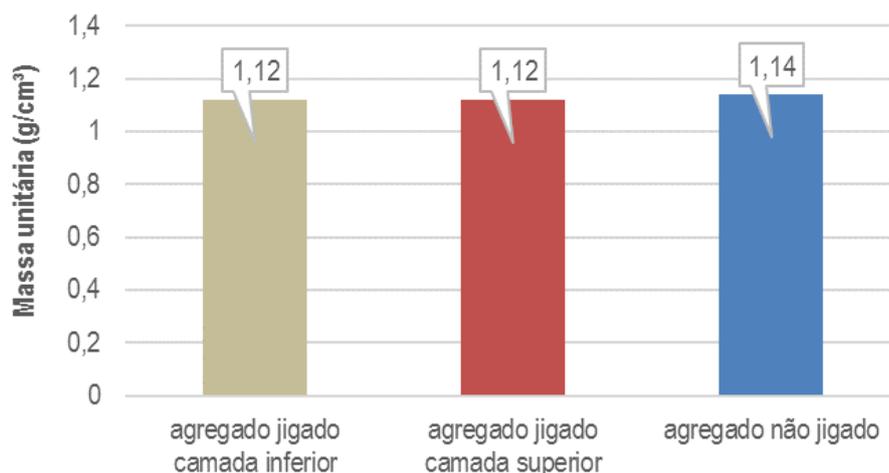
Percebe-se que a massa específica dos agregados graúdos de RCD foi de 2,53 g/cm<sup>3</sup> na camada inferior do jig, 2,46 g/cm<sup>3</sup> na camada superior e 2,49 g/cm<sup>3</sup> para aqueles agregados que não passaram pelo processo de jigagem. Como foi mostrado nos resultados de composição do RCD, a maior presença de concreto e menor quantidade de materiais cerâmicos na camada inferior pode ser um fator positivo no aumento da massa específica dos agregados. A camada superior por possuir agregados com caráter misto resultou em agregados com uma massa específica menor em relação aos agregados que não foram jigados. Assim, permite-se inferir que o procedimento de jigagem tem influência na massa específica do agregado de RCD.

### 3.3. Determinação da Massa Unitária

A massa unitária mede a massa referente ao agregado sobre o volume do mesmo considerando os vazios entre os grãos, uma vez que não é possível empacotar completamente as partículas dos agregados de modo que não existam vazios entre elas <sup>(9)</sup>. A NBR NM 52 <sup>(10)</sup> considera o volume de vazios sendo espaço entre os grãos de uma massa de agregado. Quanto maior for o volume de vazios, menor é a resistência mecânica e maior é a absorção de água e consumo de cimento <sup>(11)</sup>. Por sua vez, sua determinação é importante para conversões entre de valores de massa e volume <sup>(12)</sup>. A figura 6 apresenta os resultados do ensaio de massa unitária para os agregados de RCD antes e após serem submetidos à jigagem à água. Diferente do encontrado para a massa específica, o processo de jigagem não proporcionou tanta influência na massa unitária, apresentando um ligeira decréscimo do valor da massa unitária para os agregados jigados, porém não se pode afirmar que sofre influência do processo de beneficiamento gravimétrico.



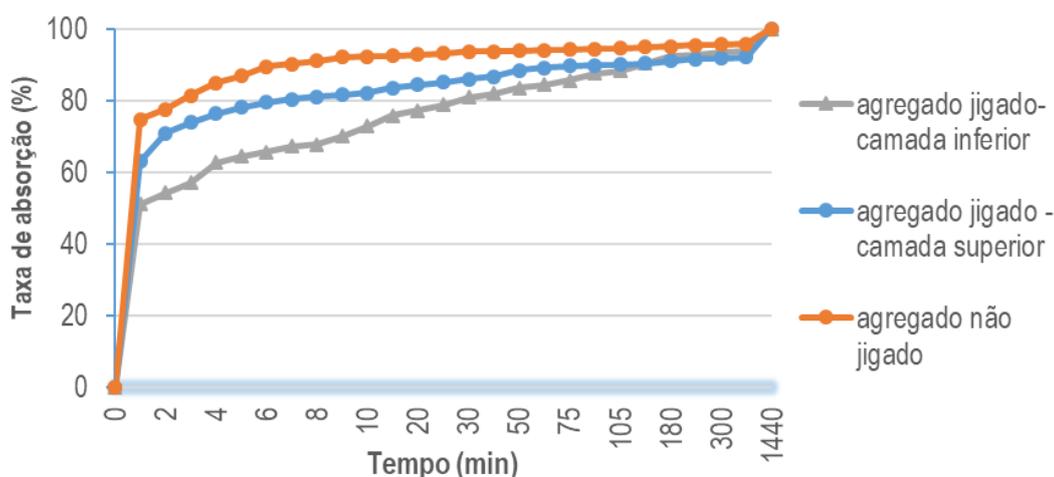
Figura 6 - Massa unitária dos agregados de RCD antes e após a jigagem.



### 3.4. Ensaio de Absorção de Água

Os agregados reciclados possuem uma maior porosidade quando comparados aos agregados naturais, o que resulta numa maior capacidade de absorção de água, podendo afetar algumas propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido <sup>(13)</sup>. Assim sendo, a determinação da taxa de absorção de água dos agregados de RCD se faz necessária de modo a evitar futuros problemas aos concretos. As figuras 7 e 8 apresentam os resultados dos ensaios de absorção de água para os agregados de RCD que foram submetidos ao processo de jigagem e os compara com aqueles que não passaram pelo beneficiamento gravimétrico.

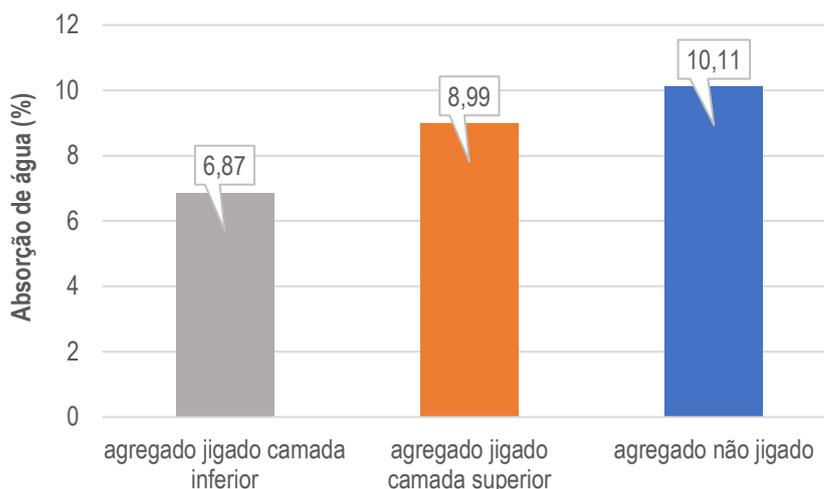
Figura 7 - Taxa de absorção de água ao longo do tempo dos agregados de RCD.



Com base na figura 7, percebe-se que os agregados reciclados de RCD absorvem grande quantidade de água já no primeiro minuto, com valores acima de 54% para o agregado jigado na camada inferior, 63% para o agregado para o da camada superior e 74% para o agregado não jigado, conferido pela elevada porosidade de sua estrutura.



Figura 8 - Taxa de absorção de água dos agregados.



Com os resultados obtidos, verificou-se que o processo de jigagem proporcionou uma melhora nas propriedades dos agregados de RCD quanto à absorção de água. Para tal, observou-se uma redução de 32,04% na absorção de água do agregado da camada inferior e 11,07% para o agregado da camada superior quando comparados ao agregado de RCD não jigado. Os agregados da camada inferior são basicamente constituídos de concretos, com maior massa específica, sendo este menos porosos que os agregados de origem cerâmica, podendo ser fator determinante nesse resultado. Mondini <sup>(14)</sup> não observou influência significativa do processo de jigagem nas características de absorção dos agregados de RCD, fato atribuído a semelhança nas massas específicas dos agregados utilizados.

#### 4. CONCLUSÕES

De modo geral, pode-se concluir com este trabalho que o processo de jigagem se mostrou eficiente para o beneficiamento dos agregados graúdos reciclados de RCD, visto que contribuiu com a redução da variabilidade em alguns aspectos, como por exemplo na composição das amostras, que se mostraram com materiais mais nobres na gaveta inferior do jigue, sendo esta a que seria utilizada para a produção de concretos. Logicamente, com a maior presença de resíduos de concretos na camada inferior, se obteve melhoria nos valores de massa específica e nas taxas de absorção de água, visto que concretos possuem maior massa específica e são menos porosos que os agregados de origem cerâmica.

Sendo assim, o jigue hidráulico mostra-se como um potencial agente de processamento de RCD para aplicação em larga escala por ser um processo rápido e com resultados satisfatórios. De qualquer forma, a continuidade dos estudos referentes à possibilidade de reciclagem desses materiais é de imensa importância para a sociedade.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2015.
- (2) SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil - avanços institucionais e melhorias técnicas**. 2015.
- (3) LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. p. 290
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Usinas Mapeadas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/quem-somos/>>. Acesso em 10 de maio de 2019.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. **NBR NM 45**, Rio de Janeiro, 2006.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica. **NBR NM 248**, Rio de Janeiro, 2003.
- (7) LEITE, M. B. et al. Proposta de Adaptação do Procedimento Proposto Por Leite (2001) Para Determinação da Absorção de Agregados Reciclados de Resíduo de Construção Demolição. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS, 7. Fortaleza, 2011. **Anais...** Fortaleza, 2011.
- (8) JRC Report EUR 24918 EN 2011. **Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C&D) Waste Management – A practical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA)**. European Commission Joint Research Centre, 2011.
- (9) MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI. ISBN.: 85-7266-040-2, p. 573, 1994.
- (10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. **NBR NM 52**, Rio de Janeiro, 2009.
- (11) Gómez-Soberón, J. M. V. (2002) "**Porosity of concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study**", Cement and Concrete Research, v. 32, n. 8, p. 1301-1311.
- (12) NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.; **Tecnologia do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 41-277, 2013.
- (13) CORDEIRO, L. de N. P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade dos concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.
- (14) MONDINI, B. G. **Avaliação da variabilidade de concretos utilizando resíduos de construção e demolição submetidos ao processo de separação por jigagem a seco**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.