

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## CONCRETO A PARTIR DE AGREGADO GRAÚDO RECICLADO: UMA AVALIAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS EM FORTALEZA/CE

### CONCRETE FROM AGGREGATE GRADE RECYCLED: AN EVALUATION IN THE PRODUCTION OF INTERLOCKED BLOCKS IN FORTALEZA/CE

Recibido el 21 de mayo de 2020. Aceptado el 13 de enero de 2021

#### Abstract

*The urgency to develop configurations for the use of construction and demolition waste (RCD) is irrefutable, given that they are bulky, inert, and barely workable. Therefore, they represent difficulties in the destination and can trigger several environmental, social, health and economic problems. The study aims to evaluate the performance of pieces for interlocking pavements made with concrete whose natural coarse aggregates have been partially replaced by recycled ones. Methodologically, concrete production was used in three proportions of substitution of natural coarse aggregates for recycled ones: 0%; 25%; 50%, with concrete without adding recycled material used as a reference for the others. The water-cement factor was maintained in all proportions. To ensure workability, recycled aggregates were added to the concrete only after prior water compensation. The results indicated a 10.7% loss in the compressive strength parameter and a maximum increase of 46.7% in water absorption. Despite the reductions in the strength values of blocks with recycled material, the results obtained met the minimum limit of 35 Mpa, required by NBR 9781, 2013. In general, it can be concluded that the use of recycled coarse aggregates for the manufacture of concrete, within the analyzed properties, it is feasible if production control is respected.*

**Keywords:** concrete, construction and demolition waste, recycling.

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia, Universidade de Fortaleza, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Rua Fiscal Vieira, 3781 – ap. 201 – Bairro Joaquim Távora, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP: 60120-170. Email: [milabernardini@yahoo.com.br](mailto:milabernardini@yahoo.com.br)

## Resumo

A urgência em se desenvolver configurações para o uso de resíduos de construção e demolição (RCD) é irrefutável, dado que eles são volumosos, inertes e pouco trabalháveis. Logo, representam dificuldades na destinação e podem desencadear diversos problemas ambientais, sociais, sanitários e econômicos. O estudo objetiva avaliar o desempenho de peças para pavimento intertravado confeccionadas com concretos cujos agregados graúdos naturais foram parcialmente substituídos por reciclados. Metodologicamente, empregou-se a produção de concretos em três proporções de substituição de agregados graúdos naturais por reciclados: 0%; 25%; 50%, sendo o concreto sem adição de material reciclado utilizado como referência para os demais. O fator água-cimento foi mantido em todas as proporções. Para garantir a trabalhabilidade, os agregados reciclados foram adicionados ao concreto somente após prévia compensação de água. Os resultados indicaram perda de 10.7% no parâmetro resistência à compressão e incremento máximo de 46.7% na absorção de água. Apesar das reduções nos valores de resistência dos blocos com material reciclado, os resultados obtidos atenderam ao limite mínimo de 35 Mpa, exigido pela NBR 9781, 2013. De modo geral, pode-se concluir que o uso de agregados graúdos reciclados para a fabricação de concretos, dentro das propriedades analisadas, é viável desde que respeitado o controle de produção.

**Palavras chave:** concreto, resíduos de construção e demolição, reciclagem.

## Introdução

A Revolução Industrial foi um importante marco histórico da transformação das estruturas da sociedade, a qual propiciou incontestáveis benefícios em diversos âmbitos, ressaltando-se, sobretudo, os avanços econômico e social. Dentre suas consequências diretas, houve um aumento progressivo nos padrões de consumo, tomado como vantajoso do ponto de vista econômico.

Em decorrência do crescimento desenfreado do consumo e da necessidade de atender à demanda de produção, a extração de matéria-prima natural não-renovável ocorre de modo insustentável, gerando impactos ambientais negativos imensuráveis. Dentre eles, é possível citar a contaminação e/ou infertilidade de solos, contaminação dos corpos hídricos, assoreamento, desequilíbrios ecossistêmicos, intenso escoamento superficial e enchentes são alguns relacionados. Tais impactos ambientais e sanitários recebem grande contribuição da geração excessiva de resíduos sólidos pelo setor da construção civil, evidenciada principalmente nos grandes centros urbanos.

Países como a China são um claro exemplo de como o processo de industrialização aumenta consideravelmente a geração de resíduos sólidos oriundos da urbanização, haja vista o expressivo montante dos 54% a mais gerados em 2013, se comparado com o aumento verificado já na década de 80 (Wu *et al.*, 2016). Ainda que alarmante, a produção de resíduos da China é inferior à verificada em países como os Estados Unidos, os quais geraram 251 milhões de toneladas de resíduos sólidos fruto da urbanização no ano de 2012 (EPA, 2012). Isso equivale, em análise relativa, ao dobro da produção da China supracitada.

Importante ressaltar que a Indústria da Construção Civil (ICC) é tomada como um dos principais parâmetros de desenvolvimento econômico e social de um país. Contudo, além de consumir intensamente os recursos naturais, é responsável por expressiva parcela de RSU, a qual pode atingir até 70% da massa total produzida (Souza, 2012). Coelho e Brito (2012) estimaram a produção de resíduos de construção e demolição (RCD) de países como Alemanha, Estados Unidos, Japão e Austrália, as quais correspondem, em kg/habitante/ano, a 720; 464; 780; 400, respectivamente. Para o Brasil, a taxa de produção de RCD se assemelha à média apresentada pelos referidos países, a qual, segundo Mesquita *et al.* (2015), equivale a 500 kg/habitante/ano ou 1.37 kg/habitante/dia.

Em comparação a esses dois países, o Brasil apresenta produção absoluta de RSU significativamente inferior, apesar de exceder a taxa de geração per capita da China referente a 2006, sendo da ordem de 78 milhões de toneladas para o ano de 2016, segundo estimativa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2016). Embora apresente produção inferior, a conjuntura dos RSU brasileiros é preocupante, haja vista a deposição de tais resíduos ser efetuada preferencialmente em aterros e lixões, os quais receberam tanto em 2000 quanto em 2008 parcela superior a 90% em massa dos RSU (Brasil, 2011).

Portanto, a disposição final inadequada dos RSU reside entre os principais entraves ligados ao montante de resíduos gerado. Uma vez dispostos de maneira inapropriada, suscitam problemas de ordens social e sanitária (como: a formação de vetores nocivos à saúde pública) e podem se tornar reveses econômicos - dados os dispêndios financeiros necessários à resolução das problemáticas desencadeadas.

Averiguando a situação de Fortaleza/CE, tem-se que a produção de resíduos sólidos excedeu o patamar de 2 milhões de toneladas em 2014, correspondendo a um aumento de 6.42% em relação ao ano precursor (Fortaleza, 2015). Analisando a produção local, tem-se que esta cidade gerou cerca de 96.000 m<sup>3</sup> de RCD no ano de 2006, o que representa 150 toneladas produzidas a cada hora na capital cearense (Fortaleza, 2012).

Dentre as cidades participantes da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, 72.44% possuem serviços de manuseio das sobras de material procedentes das obras civis (Brasil, 2011). Conforme a ABRELPE (2016), os órgãos administrativos coletaram aproximadamente 45% do milhões de toneladas de RCD no ano de 2016, valor equiparado a 0.6 kg/habitante/dia. Esse dado demonstra ineficiência no sistema de coleta, visto que a taxa de produção de RCD (Mesquita *et al.*, 2015) é superior ao dobro da taxa recolhida.

A partir da concepção de desenvolvimento sustentável e de toda a problemática envolvendo os resíduos sólidos, com foco os RCD, diversos países passaram a demonstrar preocupação com a disposição deles. Nesse sentido, leis foram outorgadas com vista buscar o reaproveitamento ou

reciclagem, bem como destinação final ambientalmente adequada aos RCD. Embora Brasileiro e Matos (2015) apontem pouca receptividade para a reciclagem dos RCD, a qual pode ser devido ao baixo grau de confiança por parte de clientes e construtores quanto à qualidade e segurança dos produtos fabricados tendo os resíduos de construção como matéria-prima.

Desse modo, a reciclagem dos RCD se mostra largamente vantajosa, uma vez que é capaz de reduzir o consumo de recursos naturais pela ICC, conter o volume de resíduos depositados inapropriadamente; e propiciar redução da aquisição de novos materiais e do transporte desses resíduos até o destino final. A exemplo da viabilidade do processo de reciclagem, há casos de países como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, os quais reutilizam e reciclam parcelas de até 90% da totalidade de RCD gerado (Costa, 2014).

O cenário de reciclagem verificado nestes países supracitados difere expressivamente do que se encontra no Brasil. Mesmo considerando o pleno funcionamento de todas as usinas do país (o que não condiz com a realidade), o potencial de reciclagem seria de somente 3.6% de todo o resíduo produzido (ABRELPE, 2018).

No âmbito de Fortaleza, a destinação dos RCD é crítica, dada a ineficiência do processo de reciclagem, a julgar pela inexpressiva parcela de 5% referente ao total de RCD reciclado (Fortaleza, 2012), situação agravada pelo fato de a preponderante parte desse material ser disposta, de acordo com Oliveira *et al.* (2011), em aterros clandestinos.

A deposição inadequada dos RCD aponta a imprudência dos autores e o desconhecimento em relação às propriedades e características desse tipo de resíduo, vista potencial de reciclagem e reaproveitamento é alto, sob distintas formas de aplicação. Cabral *et al.* (2012), Pepe *et al.* (2014), Rahal e Al-Khaleefi (2015) e Araújo *et al.* (2016) legitimaram a aplicabilidade dos RCD na forma de agregados reciclados em substituição aos agregados naturais na produção de concreto, similarmente à avaliação proposta por este estudo.

Há urgência, pois, em desenvolver configurações para o aproveitamento dos RCD no Brasil, dado que, via de regra, são volumosos e pouco trabalháveis, impondo dificuldades na sua destinação e desencadeamento de problemas ambientais, sociais, sanitários e econômicos. Dar-lhes novas formas de utilização traz benefícios para a sociedade como um todo, uma vez que problemáticas ambientais e sanitárias seriam atenuadas; haveria redução dos recursos incorporados pela ICC e redução de custos na obtenção de novos materiais; redução dos custos no transporte desses resíduos aos locais de despejo; maior vida útil dos aterros, incentivo a um novo ramo da economia relativo ao tratamento desse material; e, ademais, daria importante contribuição para a comunidade científica, posto que a discussão sobre a efetividade de aplicação dos RCD demanda aperfeiçoamento e consensos nos parâmetros de análise.

A utilização de agregados reciclados se mostra viável em diversas finalidades e, mais especificamente, na produção de concretos, foco deste estudo. Essa validação foi realizada por diversos autores, com destaque para Pepe *et al.* (2014) e Araújo *et al.* (2016). É apontado que, apesar da abrangente variação nas propriedades dos agregados reciclados, os concretos produzidos a partir de substituições de agregados naturais pelos reciclados apresentaram resultados aceitáveis, em características mecânicas e de durabilidade. Embora diversos estudos apontem a adequação dos agregados reciclados para a fabricação de concretos, a exemplo de Pepe *et al.* (2014), Rahal e Al-Khaleefi (2015) e Araújo *et al.* (2016), ainda há divergências na comunidade científica quanto à eficiência desse material, demonstrando a necessidade de aprimoramento desse viés de pesquisa.

Diante do exposto, este estudo se dispõe a avaliar o desempenho de peças para pavimento intertravado, produzidas com agregado graúdo reciclado oriundo de uma obra de construção civil, em Fortaleza/CE.

### Metodologia

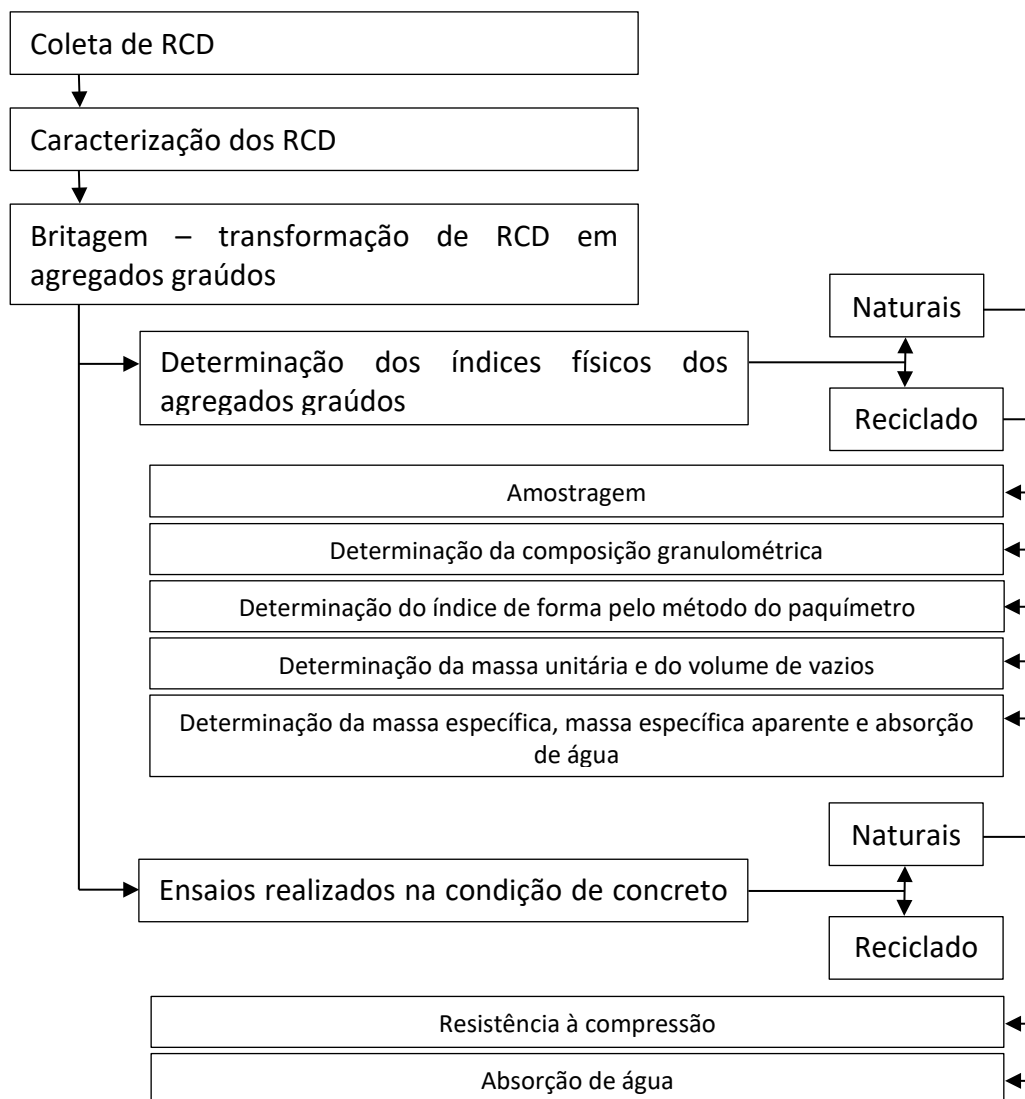
Os procedimentos metodológicos que nortearam a condução da pesquisa envolveram etapas quantitativas de análise, a partir dos RCD coletados em campo. O fluxograma da figura 1 demonstra de forma sintetizada as etapas do percurso metodológico.

A realização do estudo partiu da coleta da matéria-prima, o RCD, proveniente de um edifício residencial multifamiliar da cidade de Fortaleza/CE, localizado na Rua Luiza Miranda Coelho, bairro Luciano Cavalcante. Esse ponto de coleta foi determinado em razão da prática de segregação dos resíduos sólidos lá desempenhada, na qual os resíduos eram acondicionados em *containers*, em conformidade com a segregação por classe.

A coleta ocorreu entre os meses de março a maio de 2018. Na frequência de duas vezes por semana, foram recolhidas amostras de material residual de aproximadamente 1000 kg. Elas foram destinadas ao Laboratório de Materiais de Construção, pertencente à Universidade de Fortaleza, no qual foram desenvolvidos os procedimentos de análise.

Uma vez coletada e transportada, a amostra de resíduos foi criteriosamente segregada, objetivando-se a determinação do perfil de materiais de sua composição. Nesse momento, foram descartados fragmentos de gesso, cerâmica polida e aos outros materiais que pudessem impactar negativamente no desempenho do concreto a ser produzido. Descartou-se ainda a parcela de areia multimistura, devido à sua granulometria viabilizar seu emprego em agregados miúdos.

Posteriormente, houve a produção dos agregados reciclados a partir da parcela de resíduos que apresentou melhor desempenho para o resultado almejado. Uma vez selecionado o material a ser utilizado, a transformação do material residual em agregado, se deu pelo processo de britagem. Nesta etapa, os resíduos foram encaminhados à Usina de Reciclagem de Fortaleza (USIFORT), empresa que promove o reaproveitamento de resíduos sólidos, através da britagem do RCD, para confecção de blocos intertravados.



**Figura 1.** Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a trituração, o material foi devolvido ao laboratório supracitado. Aqui, novamente a fração miúda originada no processamento do RCD foi separada e desprezada, dispondo-se somente das partículas retidas na peneira de 4.75mm, ou seja, os agregados graúdos.

Na etapa seguinte, os agregados graúdos reciclados e naturais foram caracterizados, com o propósito de estabelecer seus índices físicos. Vale destacar que os ensaios foram normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O quadro 1 expressa o tipo de agregado, o ensaio realizado e sua respectiva norma.

**Quadro 1.** Caracterização dos agregados.

Tipo de Agregado	Ensaio	Normas
Agregado Graúdo Natural e Reciclado	Amostragem	NBR NM 26:2009
	Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248:2003
	Determinação do índice de forma	NBR 7809:2006
	Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios	NBR NM 45:2006
	Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água	NBR NM 53:2009

Fonte: Elaborado pelos autores.

Concluído o processo de determinação dos índices físicos para agregados graúdos reciclados e naturais, a etapa subsequente foi a de confecção dos blocos para pavimento intertravado, na qual foi necessário estabelecer o traço de concreto a ser empregado. Visou-se a definição de um traço que satisfizesse às exigências normativas quanto à resistência à compressão e, concomitantemente, proporcionasse um concreto de boa trabalhabilidade. Portanto, foram experimentados diferentes traços de concreto, a partir de instruções científicas previamente consultadas.

A princípio, o traço definido para produção do concreto foi 1:3:2.4:0.5, que representa as proporções de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e fator água-cimento, respectivamente. No entanto, devido à elevada porosidade do agregado reciclado (a qual se reflete em alta capacidade de absorção de água), considerável parcela de água que deveria conferir trabalhabilidade à mistura foi absorvida pelo agregado. O resultado foi um concreto de baixíssima trabalhabilidade, com impossibilidade de moldagem das peças. Logo, houve descarte desse traço.

Pretendendo-se obter uma mistura menos seca, de modo a facilitar o transporte e a moldagem dos blocos de concreto, novos experimentos de traço de concreto foram realizados. As equações de cálculo de traço realizadas, a fim de obter um concreto capaz de atingir altas resistências, chegaram a um traço representado por: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e fator água-cimento, respectivamente, nas seguintes proporções: 1:1.44:1.94:0.57. Com o objetivo de atingir melhores níveis de trabalhabilidade nesse teste, acrescentou-se aditivo plastificante na proporção de 0.5% da massa de cimento. Baseando-se nas boas condições de manuseio apresentadas pelo concreto a partir do novo traço e nos parâmetros de resistência à compressão exigidos, decidiu-se pela confecção dos blocos com o concreto dessa verificação. Destaca-se, ainda, que houve emprego de aditivo plastificante somente no primeiro concreto produzido, o qual era constituído por 100% de agregado natural.

Definido o traço, foram estipuladas três proporções para a substituição dos agregados graúdos naturais por reciclados, para averiguar a influência do material reciclado sobre o desempenho do concreto. A primeira mistura foi produzida completamente com agregados naturais, a fim de ter parâmetros comparativos. A tabela 1 dispõe das frações de substituição dos agregados graúdos naturais por reciclados, assim como o valor do fator água/cimento para todas as misturas. Vale destacar que estes são valores de substituição arbitrários, a fim de verificar o comportamento do agregado e estabelecer comparações com os valores de referência em literatura.

**Tabela 1.** Proporções de substituição de agregados e fator água/cimento.

TRAÇO	AGREGADO GRAÚDO NATURAL (%)	AGREGADO GRAÚDO RECICLADO (%)	FATOR ÁGUA/CIMENTO
1º	100	ZERO	0.57
2º	75	25	0.57
3º	50	50	0.57

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme elucidado anteriormente, os agregados reciclados apresentam considerável potencial de absorção de água. Sabendo, ainda, que o fator água-cimento exerce influência direta sobre as propriedades do concreto (tanto em estado fresco, quanto endurecido), tornou-se imprescindível compensar a perda de água da mistura, minimizando possíveis impactos dessa redução na quantidade de água de amassamento sobre a qualidade dos blocos intertravados. À vista disso, realizou-se sua pré-molhagem, durante 10 minutos antes da sua incorporação à mistura de concreto. Esse intervalo de tempo foi suficiente para que atingissem níveis próximos à saturação e a perda de água de amassamento fosse minorada.



Para isso, estimou-se, a partir da taxa de absorção definida nos ensaios de caracterização, a quantidade de água a ser utilizada na compensação do que seria absorvido pelos agregados reciclados.

Na composição do concreto, adotou-se o Cimento Portland CP V ARI RS (Mizu). A água usada teve procedência da rede pública. A moldagem das peças se deu em formas plásticas, previamente lubrificadas, com capacidade para acomodar duas peças com: 10 cm x 20 cm x 6 cm (LxCxA). Logo após acondicionamento da mistura nas formas, estas eram colocadas em uma mesa vibratória durante 1 min, a fim de reduzir os poros presentes no concreto e potencializar seu desempenho. A cura de todas as peças foi efetuada através de submersão em água, pelo período de 28 dias.

Imediatamente em seguida ao tempo de cura em câmara úmida, se verificou as dimensões das peças e, então, as superfícies de carregamento foram retificadas. Posteriormente, os blocos foram submetidos ao ensaio de determinação da resistência à compressão (em conformidade com a NBR 9781 (ABNT, 2013)) e absorção de água, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

### **Resultados e discussões**

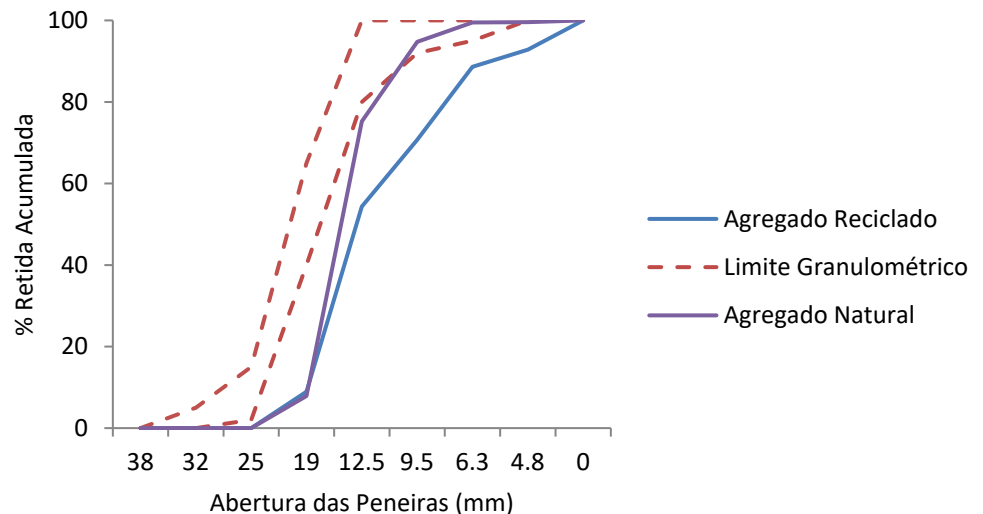
A análise dos resultados parte da determinação do perfil de distribuição dos materiais constituintes da amostra de RCD trabalhada e dos resultados apresentados nos ensaios laboratoriais sobre índices físicos dos agregados. Em seguida, analisam-se detalhadamente os resultados dos ensaios, na condição do concreto fresco e endurecido.

#### *Composição do RCD e Índices físicos dos agregados*

Como resultados da composição da amostra analisada, verificou-se que a majoritária parcela do RCD coletado é constituída por argamassa, com aporte de 39% de todo o material estudado. Subsequente à argamassa, os materiais mais abundantes na amostra analisada são: areia multimistura, gesso, concreto, cerâmica vermelha e cerâmica polida, respectivamente, em proporções de 22.2%. 12.5%. 11.3%. 6.8% e 6.7%. O material de menor parcela identificado foi de origem pétreo, representado por 1.0% da massa total. Identifica-se, ainda, a areia multimistura como o material granular do RCD passante pela peneira de 4.75mm. Portanto, estes valores são resultados da composição do RCD gerado pela obra em análise, em Fortaleza.

A partir da análise de composição do RCD, verifica-se que 58.1% do material estudado é adequado à proposta desta pesquisa. Logo, pode ser reaproveitado sob a forma de agregado graúdo, cujo valor é a soma das parcelas referentes à cerâmica vermelha, ao concreto, à argamassa e à pedra.

No que se refere às propriedades dos agregados, as curvas granulométricas do Gráfico 1 demonstram que os agregados reciclados apresentam maior continuidade que os agregados naturais, o que oportuniza um rearranjo mais eficiente entre suas partículas. Tal configuração granulométrica favorece a produção e o desempenho do concreto.



**Gráfico 1.** Curvas granulométricas dos agregados graúdos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Complementarmente às curvas granulométricas, têm-se os parâmetros relativos ao módulo de finura (MF), apresentado por variação inferior a 5% entre o agregado natural e o reciclado, sob valores de 7.02 e 6.72, respectivamente. A dimensão máxima característica (DMC) foi de 25 mm para ambos os agregados.

Quanto ao formato dos grãos, observou-se que os agregados reciclados apresentam índice de forma inferior ao apresentado pelos agregados naturais, com valores respectivos de 1.37 e 1.44. Apesar da estreita diferença entre os valores, esse parâmetro evidencia a tendência dos grãos de agregados reciclados a formas mais cúbicas que a de grãos de agregados naturais. Tal característica indica possível uma melhor trabalhabilidade do concreto produzido com o material em estudo.

Relativamente à massa unitária, a comparação entre agregados graúdos reciclados e naturais mostrou uma redução de 20% e 23.6% para massa unitária compactada e solta, respectivamente. Verifica-se uma compatibilidade entre os resultados obtidos e o indicado por Cabral *et al.* (2012), que aponta os agregados reciclados com parâmetro inferior de massa unitária frente ao mesmo parâmetro para agregado natural.

Apesar de inferior ao encolhimento verificado nos parâmetros de massa unitária, é notável a retração de 17.9% de massa específica dos agregados reciclados frente aos naturais. Essa redução na massa específica dos agregados reciclados corrobora com Cabral *et al.* (2012) e se contrapõe a Pepe *et al.* (2014). Essa redução se deve possivelmente à alta porosidade, típica dos agregados reciclados.

Já quanto à absorção de água, os agregados reciclados apresentaram 10.7% e agregados naturais, 0.6%. Conforme indicado por Araújo *et al.* (2016), os agregados reciclados apresentaram significativo potencial de absorção de água, atingindo aproximadamente 18 vezes mais que o percentual em agregados naturais. Isso pode ser explicado pela alta porosidade e permeabilidade denotadas por esse material.

Esse amplo potencial de absorção de água nos agregados reciclados é uma notável particularidade que merece ser criteriosamente avaliada, visto que há necessidade de incremento de água no traço para manuseio do concreto, levando prejuízos na resistência à compressão. Portanto, esse alto potencial de absorção de água pode impactar direta e negativamente sobre a trabalhabilidade do concreto produzido com agregados reciclados.

#### Ensaio realizado na condição de concreto fresco

Quando ao ensaio na condição de concreto fresco utilizado para confecção das peças intertravadas, os valores do *Slump-test* foram relativamente elevados, os quais indicam consistência fluida dos concretos. Pode ser justificada pelo processo de adensamento do concreto a partir de vibração - cenário mais difícil caso o concreto apresentasse baixa trabalhabilidade.

Na Tabela 2, são dispostos os resultados, obtidos através do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump-test*), cujas colunas intituladas com "1º", "2º" e "3º" são referentes aos concretos confeccionados com proporções de 0%; 25% e 50% de substituição de agregados graúdos naturais por reciclados, respectivamente.

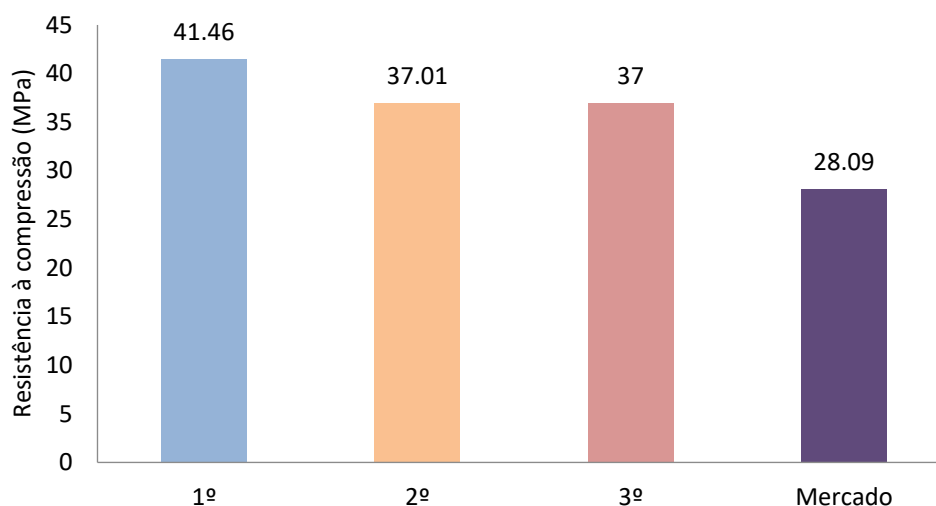
**Tabela 2.** *Slump-test*.

TRAÇO	SLUMP-TEST (cm)
1º	10
2º	13.6
3º	18.2

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ensaio realizado na condição de concreto endurecido

Na figura 2, é ilustrada a resistência à compressão resultante das peças intertravadas confeccionadas em concretos produzidos a partir de diferentes proporções de inserção de agregados reciclados em substituição aos agregados naturais, conforme os mesmos traços “1º”, “2º” e “3º” apresentados na tabela 2. Indica-se ainda que o valor atribuído à coluna “Mercado” é referente a blocos intertravados comumente comercializados, os quais foram utilizados como parâmetro entre os demais blocos avaliados.



**Figura 2.** Resistência à compressão de blocos intertravados de concretos de agregados reciclados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

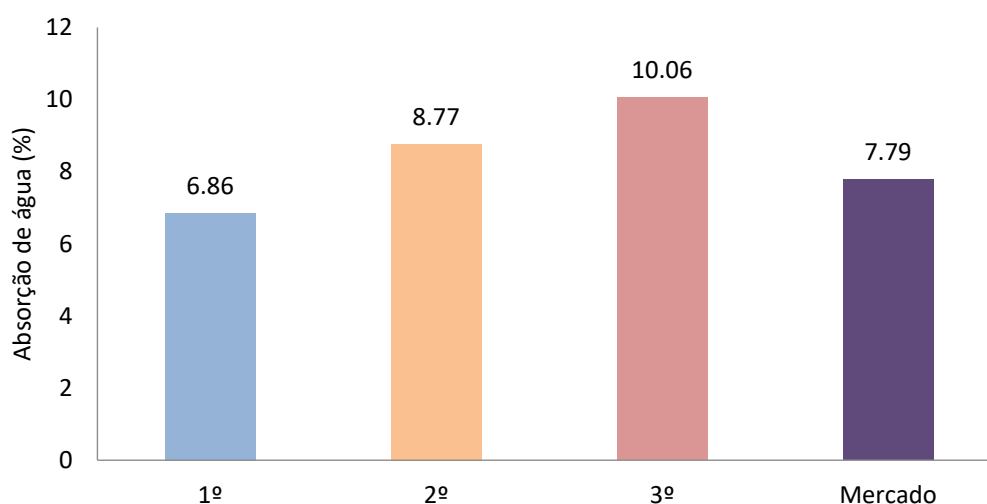
A análise do gráfico confirma a hipótese de que o melhor desempenho foi atingido pelos blocos produzidos com concreto constituído completamente por agregados naturais. Verifica-se ainda que a utilização de agregados reciclados para a fabricação de concreto impacta direta e negativamente na resistência à compressão deles.

Os blocos correspondentes aos concretos confeccionados com utilização de 25% e 50% de agregado reciclado em detrimento do gráudo natural apresentaram queda de 10.7% em seus valores de resistência à compressão. Essa redução em concretos adicionados de agregados gráudos reciclados é devido a sua alta porosidade e baixa resistência, conforme Araújo *et al.* (2016). O decréscimo de 10.7% aqui observado reforça o apontado pelo mesmo autor supracitado, cuja retração é de até 19% para concretos compostos com teor de 50% em agregados gráudos reciclados.

Destaca-se, ainda, a baixa resistência alcançada pelos blocos comercializados no mercado, a qual foi inferior ao exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013), a qual impõe 35 MPa de resistência mínima à compressão.

Na Figura 3, são apresentados os números para o ensaio de absorção de água. A cada proporção de substituição de agregados naturais por reciclados, foram ensaiadas três peças de bloco intertravado, tomando-se como resultado, a média aritmética da absorção de água individual dos blocos. Apresenta-se, ainda, a absorção de água dos blocos comercializados no mercado, obtida igualmente aos demais.

Similarmente aos dados apresentados no tópico anterior, os traços intitulados com “1º”, “2º” e “3º” são referentes aos concretos confeccionados com proporções de 0%, 25% e 50% de substituição de agregados graúdos naturais por reciclados, respectivamente.



**Figura 3.** Absorção de água de blocos intertravados de concretos de agregados reciclados.

*Fonte: Elaborado pelos autores.*

Em análise ao gráfico da Figura 3, verifica-se que a absorção de água dos concretos produzidos com agregados reciclados foi notadamente acrescida ao passo que a proporção de agregados reciclados foi ampliada. O menor percentual de absorção de água é referente ao concreto com constituintes de origem integralmente natural, sendo o valor comparativo entre os demais.

O incremento no percentual de absorção de água do concreto produzido com teor de 25% de substituição foi de 27.8%; enquanto o aumento na taxa de absorção foi ainda mais expressivo quando metade dos agregados graúdos utilizados na produção do concreto era de origem reciclada, cujo acréscimo foi da ordem de 50%.

De acordo com os requisitos da NBR 9781 (ABNT, 2013), nenhum dos blocos de concreto analisado está em conformidade a norma. Inclusive, nem os blocos já comercializados no mercado atendem ao limite de absorção de água de 6%.

### Conclusão

Conclui-se que parte significativa do material recolhido pode ser reaproveitado na forma de agregado para a produção de blocos intertravados, com percentual de 58.1% de aproveitamento. Em relação aos índices físicos do agregado reciclado, os resultados foram compatíveis com estudos anteriores.

No que se refere ao ensaio de resistência à compressão, apesar das reduções nos valores para blocos com material reciclado, os resultados atenderam ao limite mínimo de 35 Mpa, exigido pela NBR 9781 (2013). Por outro lado, a performance dos blocos comercializados no mercado foi insatisfatória. Questiona-se, então, a incompatibilidade entre os padrões exigidos e os blocos convencionais disponíveis no mercado.

Os resultados de absorção de água dos blocos demonstraram, conforme esperado, que o aumento da absorção é proporcional ao aumento dos agregados graúdos reciclados. Nenhuma das peças avaliadas correspondeu às solicitações da NBR 9781 (2013), que impõe o percentual de absorção máximo de 6.0%. Portanto, questiona-se acerca da necessidade de revisão da norma regulamentadora para o assunto.

De modo geral, entre algumas vantagens do uso dos agregados graúdo reciclado estão: a redução do volume de RCD disposto em aterros, o aumento da vida útil dos locais de destinação de resíduos, o aproveitamento do material pela própria fonte geradora, a melhora das condições de trabalhabilidade do concreto e o amplo potencial de reciclagem e criação de novos materiais. Em contrapartida, são desvantagens: a elevada absorção de água dos agregados reciclados (embora a pré-molhagem anterior a sua incorporação na mistura tenha sido eficiente para evitar perdas na trabalhabilidade); o incremento na absorção das peças de concreto; as perdas nos valores de resistência à compressão das peças. No entanto, nas condições analisadas, o limite exigido por norma para este parâmetro foi atingido.

Por fim, pode-se inferir que há viabilidade na aplicação de agregados graúdos reciclados na fabricação de concreto. Entretanto, é necessário haver o devido controle de produção, a exemplo da dosagem do concreto em massa e da pré-molhagem dos agregados anterior a sua incorporação na mistura de concreto, conforme realizado nessa pesquisa. Não obstante, é imprescindível a mudança de postura do mercado consumidor quanto à aceitação de novas técnicas construtivas, contribuintes para a conservação ambiental.

### Referências bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006) *NBR 7809*. Agregado Graúdo – Determinação do índice de forma pelo Método do Paquímetro – Método de Ensaio. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2013) *NBR 9781*. Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2003) *NBR NM 248*. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2006) *NBR NM 45*. Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2009) *NBR NM 53*. Agregados – Determinação da Absorção e da Massa Específica do agregado graúdo. Rio de Janeiro.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2016) *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2018*. São Paulo.
- \_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2016) *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2016*. São Paulo.
- Araújo, D. L., Felix, L. P., Silva, L. C., Santos, T. M. (2016) Influência de agregados reciclados de resíduos de construção em propriedades mecânicas do concreto, *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, **11**(1), 35467. <https://doi.org/10.5216/reec.V11i1.35467>
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (2011) *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF.
- Brasileiro, L. L., Matos, J. M. E. (2015) *Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil*. *Cerâmica*, **61**(358), 178-189.
- Cabral, A. E. B., Schalch, V., Dal Molin, D. C. C., Ribeiro, J. L. D. (2012) Performance Estimation for Concretes Made with Recycled Aggregates of Construction and Demolition Waste of Some Brazilian Cities. *Materials Research*, **15**(6), 1037-1044.
- Cabral, A. E. B. (2007) *Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD*. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Coelho, A., Brito, J. (2012) Quantificação, Composição e Indicadores de Geração de Resíduos de Construção e Demolição. *Construção Magazine*, **52**, Porto, 26-30.
- Costa, A. C. (2014) Resíduos de Construção e Demolição: fatores determinantes para a sua gestão integrada e sustentável. Dissertação (Mestrado) Universidade Nova de Lisboa, 58 pp.
- EPA. Environmental Protection Agency. (2012) *Municipal Solid Waste Generation, Recycling and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2012*. Acesso em: 02/10/2018, disponível em: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2012\\_msw\\_fs.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2012_msw_fs.pdf)
- Fortaleza, Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental - ACFOR. (2012) *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza - Estado do Ceará*. Relatório IV. Fortaleza, CE.
- \_\_\_\_\_. Instituto de Planejamento de Fortaleza - IPLANFOR. (2015) Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura - FCPC. *Plano de Desenvolvimento Econômico e Social – Fortaleza 2040*. Fortaleza, CE.

- Mesquita, L. C., Azevedo, I. C. D. D., Cândido, E.S., Cathoud, G. A. (2015) Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de construção e demolição na fabricação de blocos de vedação. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [s.l.], **10**(3), 30-40. Acesso em: 02/10/2018, disponível em: <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v10i3.32651>
- Pepe, M., Toledo Filho, R. D., Koenders, E. A. B., Martinelli, E. (2014) Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. *Construction and Building Materials*, **69**, 124–132.
- Rahal, K. N., Al-Khaleefi, A. L. (2015) Shear-Friction Behavior of Recycled and Natural Aggregate Concrete—An Experimental Investigation. *ACI Structural Journal*, V. 112, No. 6, 725-733.
- Souza, N. B. (2012) *Viabilidade financeira de reciclagem de RCC em usinas de concretos e fábricas de pré-moldados*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.
- Wu, H., Wang, J., Duan, H., Ouyang L., Huang W., Zuo J. (2016) An innovative approach to managing demolition waste via GIS (geographic information system): a case study in Shenzhen city, China. *Journal of Cleaner Production*. **112**, 494-503.