

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE RCD NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF RCD USE IN CONCRETE PRODUCTION

Leonardo Poletto¹

Mirdes Fabiana Hengen²

Rafael Alvise Alberti³

Submetido em 21-04-2019

Aprovado em 20-05-2019

Revista Infinity

Revista dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia de Produção.

Uceff – Campus Itapiranga

Vol. 4, nº 1, 2019

ISSN 2525-3204

¹ Engenheiro Civil, Albater Terraplanagem LTDA EPP, Brasil

² Professora Mestre, Departamento de Engenharia do Centro Universitário FAI, Brasil

³ Professor Mestre, Departamento de Engenharia do Centro Universitário FAI, Brasil

Resumo

O setor da Construção Civil está enfrentando um grande desafio, devendo-se buscar uma forma de conciliar o seu crescimento com um desenvolvimento sustentável. A atividade da construção civil é fundamental para o desenvolvimento sócio-econômico, sendo que o concreto é um dos materiais mais utilizados mundialmente, segundo Pedroso (2009). Um dos maiores problemas do setor é o seu elevado volume de perdas, o que gera uma grande quantidade de entulhos e uma má exploração dos recursos naturais (BATISTA, 2009). Mesmo com a introdução de sistemas construtivos inovadores, a geração de resíduos continua aumentando a cada ano, segundo dados da ABRELPE, nos anos de 2007 e 2014. Uma das soluções para este problema está no emprego desses resíduos na fabricação de concreto. A atual pesquisa objetivou analisar a viabilidade técnica e econômica do uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na produção do concreto, com substituição total dos agregados naturais pelos reciclados. Foram utilizados como matéria prima os resíduos de concreto, para obtenção dos agregados graúdos, e os resíduos de cerâmica, para a geração dos agregados miúdos. Além da resistência mecânica, foi analisada a trabalhabilidade dos concretos produzidos, a absorção de água do concreto endurecido e também o quanto a cura influencia na resistência mecânica e na absorção de água, sendo experimentada a cura seca e a cura com imersão em água. Os resultados mostram que o uso de agregado graúdo reciclado, originado dos resíduos de concreto, é viável, devido a baixa alteração nas características analisadas.

Palavra-Chave: Concreto; Propriedades mecânicas; Resíduo de construção e demolição.

Abstract

The Civil Construction sector is facing a great challenge, and we must find a way to reconcile its growth with sustainable development. The construction activity is fundamental for socio-economic development, and concrete is one of the materials most used worldwide, according to Pedroso (2009). One of the biggest problems in the sector is its high volume of losses, which generates a large amount of debris and poor exploitation of natural resources (BATISTA, 2009). Even with the introduction of innovative construction systems, waste generation continues to increase each year, according to ABRELPE data, in the years 2007 and 2014. One of the solutions to this problem is the use of these wastes in the manufacture of concrete. The present research aimed to analyze the technical and economic feasibility of the use of Construction and Demolition Waste (RCD) in the concrete production, with total replacement of the natural aggregates by the recycled ones. The concrete residues were used as raw material to obtain the large aggregates and the ceramic residues for the generation of

the small aggregates. Besides the mechanical resistance, the workability of the concretes produced, the water absorption of the hardened concrete and also how much the curing influences in the mechanical resistance and the water absorption were analyzed, being tested the dry cure and the cure with immersion in water. The results show that the use of recycled aggregate, originating from the concrete residues, is feasible, due to the low alteration in the characteristics analyzed.

Keywords: Concrete; Construction and Demolition Waste; Mechanical Properties.

Introdução

A Construção Civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento, tanto na esfera econômica quanto na social, segundo Pinto (2005). De acordo com o autor, o setor enfrenta um grande desafio, sendo necessário buscar uma forma de conciliar o seu crescimento com um desenvolvimento sustentável. Silva (2004) defende que o ramo sempre foi ligado a perdas e desperdícios, e que o setor está defasado porque o tema não era prioridade até pouco tempo atrás.

Segundo Sokolovicz (2013), as cavernas foram as primeiras ideias de residência, servindo de proteção ao homem, sendo novas infraestruturas criadas conforme a necessidade. O autor informa que após a Revolução Industrial na Europa, que ocorreu nos séculos XVIII e XIX, o progresso se desenvolveu de uma maneira muito intensa, havendo uma exploração indiscriminada dos recursos naturais.

A questão ambiental começou a ganhar destaque na década de 70, como afirma Leite (2011), tornando-se uma discussão global na Conferência de Estocolmo, realizada no ano de 1972 na Suécia. Ela originou uma nova forma de pensar, fazendo com que os problemas, bem como a necessidade de agir, fossem reconhecidos, promovendo medidas educativas em relação ao meio ambiente, de modo a garantir o atendimento das necessidades das gerações futuras (PASSOS, 2009).

No ano de 1992, foi realizada, na cidade do Rio de Janeiro, a Eco-92. Leite (2011) afirma que ela foi responsável pela disseminação do desenvolvimento sustentável. Está descrito no documento Agenda 21, publicado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1995), que a atividade do setor da construção é vital para o desenvolvimento sócio-econômico, apesar disso, cita que ela também é uma importante fonte de danos ambientais, logo, estabelece como objetivo a troca de informações sobre políticas e tecnologias, fazendo com que o governo trabalhe junto com o setor privado.

Para Batista (2009), um dos maiores problemas na Construção Civil é o volume de perdas de materiais que é gerado nos canteiros de obra, o que suscita, além da formação de entulho, uma má exploração dos recursos naturais. Esse fato foi notado pelos construtores já no Império Romano, como afirma Oliveira (2015), sendo datados desta época os primeiros registros de reutilização de resíduos para construção de novas obras. Ainda segundo Batista (2009), a primeira aplicação relevante dos entulhos reciclados foi na 2ª Guerra Mundial, ocorrendo a britagem dos escombros das edificações destruídas.

Segundo Miranda, Angulo e Careli (2009), no ano de 2002 foi homologada a Resolução nº 307 do CONAMA, que obriga os grandes geradores, sejam eles públicos ou privados, a criar e implantar um Plano de Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (PGRCD). De acordo com esta resolução, o objetivo prioritário dos geradores é a não geração de resíduos. Já os seus objetivos secundários são a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente correta dos mesmos. Graças a isso, ainda segundo Miranda, Angulo e Careli (2009), a reciclagem ganhou mais força.

Fazer uso desses resíduos é a solução para diminuir a agressão que os homens causam ao meio ambiente, reduzindo a demanda por aterros e recursos naturais. O desenvolvimento de pesquisas é muito importante, uma vez que demonstra a viabilidade do uso desses materiais. A atitude de reutilizar esses materiais como agregado deve ser mais popularizada, pois, mesmo não se tratando de um tema muito recente, ainda não é largamente difundida e aceita.

Conceituação

A NBR 10004 (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como resíduos no estado sólido e semissólido, provenientes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição, incluindo lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, e também líquidos cujas características tornam inviável o seu lançamento em redes de esgotos ou corpos de água.

A resolução CONAMA 307 (CONAMA, 2002) define resíduos da construção civil (RCD) como aqueles oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos provenientes da preparação e escavação dos terrenos.

Uma das propriedades mais alteradas pelo RCD é a trabalhabilidade do concreto, que é afetada pela forma irregular, textura áspera e porosidade do agregado, conduzindo a uma perda de abatimento do concreto. Devido a isso, devem ser tomadas medidas para compensar essa água que é absorvida pelo RCD, ou reduzir a absorção de água do mesmo (LEITE, 2001; WERLE, 2010).

Em relação à resistência a compressão, Zhou e Chen (2017), ao triturarem o concreto com um britador de mandíbula, geraram dois tipos de RCD, rocha esmagada e seixos naturais. Os autores concluíram que a resistência à compressão e a resistência à flexão apresentaram

resultados comparáveis, ou mesmo superiores, ao concreto convencional. Medina et al. (2014) triturou uma rocha para obter os agregados, e concluiu que a densidade saturada e o desempenho mecânico dos concretos reciclados são moderadamente inferiores ao concreto convencional, diminuindo conforme aumenta o índice de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados.

Metodologia

Quanto aos materiais, foram utilizados dois tipos, sendo (i) os resíduos de concreto e (ii) os resíduos de material cerâmico. Estes já se encontravam separados no aterro, porém, foi realizada uma nova triagem dos materiais, com o intuito de eliminar qualquer impureza. Após esta etapa, cada material passou por processo de moedura, em ocasiões distintas.

O processo de britagem foi realizado na Empresa Albater Terraplanagem, localizada na Linha Popi, interior do município de Itapiranga – SC. O material produzido foi então classificado por meio da utilização de peneira vibratória, separando-o em pó de brita, pedrisco, brita nº1 e brita nº2.

Na sequência foram retiradas amostras de cada material para a realização do ensaio granulométrico em laboratório conforme ABNT NBR NM 248/03 (ABNT, 2003). Todos os ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário FAI. Com base no resultado granulométrico dos materiais, foi dosado o traço com concreto, sendo utilizado o método ABCP, objetivando 25 MPa de resistência aos 28 dias.

Com o intuito de avaliar de uma forma mais ampla a influência do uso dos agregados reciclados no concreto, foram dosados 4 traços, sendo: (i) traço 1, um traço de referência, com agregados naturais, (ii) traço 2, um traço com agregados grãos reciclados, (iii) traço 3, um traço com agregados miúdos reciclados e (iv) traço 4, um traço com os agregados grãos e miúdos reciclados.

Em todas as composições foi utilizado o cimento Portland CP II 40. Já em relação aos agregados naturais, a areia foi proveniente do município de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, e a brita nº1 da unidade de britagem onde foi realizada a reciclagem dos resíduos, de modo a obter grãos com um formato semelhante.

Foram moldados 10 corpos de prova para cada traço (40 no total), para avaliar a resistência a compressão, sendo 5 destes curados ao ar e 5 curados com imersão em água. O rompimento dos corpos de prova aos 28 dias, ocorreu conforme diretrizes da NBR 5739/07 (ABNT, 2007).

Para o ensaio de absorção de água, este foi realizado aos 28 dias, contados após a moldagem dos corpos de prova. Foram utilizados 4 corpos de prova para cada traço, sendo 2 curados ao ar e 2 curados com imersão em água, totalizando 16 corpos de prova para a realização desse ensaio.

Resultados e Discussões

Ensaio granulométrico

Com a realização do ensaio granulométrico, os resultados podem ser visualizados na Tabela 1.

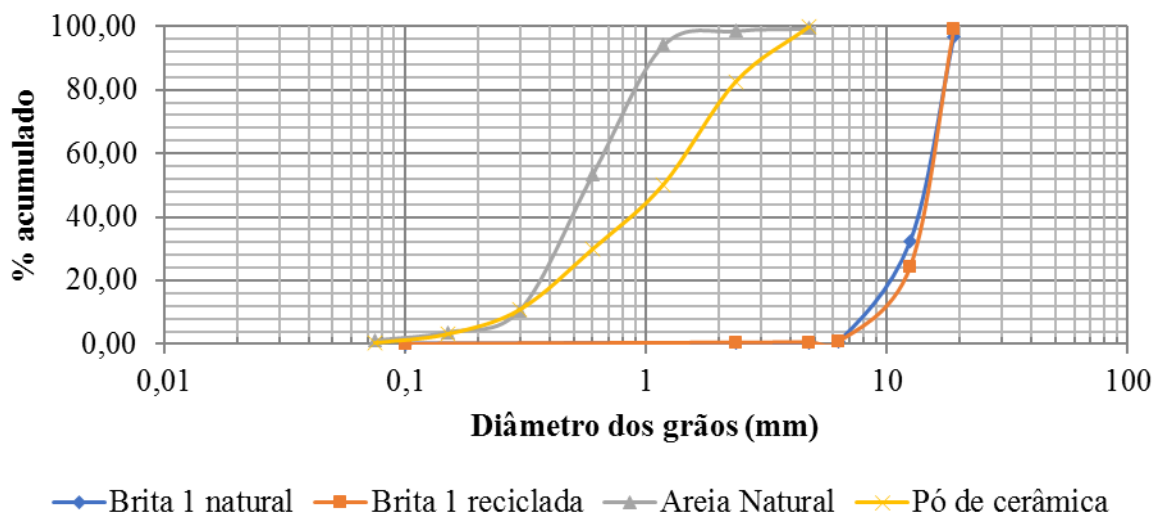
Tabela 1 – Granulometria do material reciclado

| Pó de cerâmica | | | | Brita n°1 | | | |
|----------------|---------------------|----------|-------------|------------|---------------------|----------|-------------|
| Malha (mm) | Material retido (g) | % retido | % acumulado | Malha (mm) | Material retido (g) | % retido | % acumulado |
| 4,75 | 2,44 | 0,16 | 0,16 | 19 | 19,38 | 0,92 | 0,92 |
| 2,36 | 255,26 | 17,26 | 17,42 | 12,5 | 1577,63 | 74,96 | 75,88 |
| 1,18 | 479,21 | 32,4 | 49,82 | 6,3 | 495,52 | 23,54 | 99,42 |
| 0,6 | 300,74 | 20,33 | 70,16 | 4,75 | 2,61 | 0,12 | 99,55 |
| 0,3 | 281,28 | 19,02 | 89,17 | 2,36 | 1,16 | 0,06 | 99,60 |
| 0,15 | 114,61 | 7,75 | 96,92 | Fundo | 8,38 | 0,4 | 100,00 |
| 0,075 | 41,29 | 2,79 | 99,71 | | | | |
| Fundo | 4,245 | 0,29 | 100,00 | | | | |
| Total: | 1479,06 | MF: | 4,24 | Total: | 2104,67 | MF: | 3,76 |

Fonte: Os Autores (2017)

Os resultados obtidos com os materiais reciclados diferem um pouco daqueles apresentados pelos materiais naturais, segundo dados do autor (2017). O módulo de finura da areia natural encontrado foi 3,39, valor relativamente inferior ao apresentado pelo pó de cerâmica, que foi 4,24. Isso indica que a areia natural apresenta partículas mais finas do que o resíduo reciclado. Segundo Catoia et al. (2009), materiais mais finos são empregados para aumentar a coesão do concreto, logo, o concreto preparado com o resíduo de pó de cerâmica terá a sua coesão prejudicada, em relação ao preparado com a areia natural. Já nos agregados graúdos, a diferença encontrada no módulo de finura foi menor, sendo que para a brita n°1 natural foi obtido o valor de 3,70, e para o material reciclado 3,76. O Gráfico 1 apresenta as curvas granulométricas dos 4 materiais.

Gráfico 1 – Curvas granulométricas dos agregados utilizados



Analisando o gráfico 1 é possível verificar a semelhança na granulometria entre os agregados graúdos. Para os agregados miúdos houve diferença mais acentuada, sendo que o pó de cerâmica apresentou um crescimento dos grãos de uma forma menos intensa que a areia natural, devido a uma maior distribuição do material entre as peneiras durante o ensaio. Contudo, é possível analisar que o resíduo de pó de cerâmica é composto por partículas de maior dimensão, quando comparadas as da areia.

Dosagem do traço

Após a realização dos ensaios de caracterização dos agregados, foi dosado o traço do concreto, pelo método ABCP, objetivando 25 MPa de resistência aos 28 dias. O traço adotado, em massa, foi: 1 : 2,05 : 2,90 : 0,47 (cimento : areia : brita : água). A composição detalhada de cada traço pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos traços

| Traço | Cimento (kg/m³) | Areia (kg/m³) | Pó de cerâmica (kg/m³) | Brita nº1 natural (kg/m³) | Brita nº1 reciclada (kg/m³) | Água (kg/m³) | Relação a/c |
|-------|-----------------|---------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|
| 1 | 364,62 | 749,23 | - | 1057,41 | - | 171,70 | 0,47 |
| 2 | 360,79 | 741,36 | - | - | 1046,30 | 180,40 | 0,50 |
| 3 | 327,42 | - | 672,78 | 949,52 | - | 256,21 | 0,78 |
| 4 | 324,69 | - | 667,17 | - | 941,59 | 262,42 | 0,81 |

Produção do concreto

Para a produção dos diferentes tipos de massa, foi adotada a seguinte ordem de lançamento dos materiais na betoneira: (i) material graúdo e 80% da água, sendo esses materiais agitados por 1 minuto; (ii) cimento, sendo agitado por mais 1 minuto; e (iii) por último o material miúdo e o restante da água, sendo toda a mistura agitada por mais 3 minutos. Perfazendo um tempo total de mistura de 5 minutos.

Em relação à água de amassamento, a quantidade utilizada foi adaptada para cada traço realizado. Foram acrescentados cerca de 5,07% de água para o traço n° 2, 49,22% para o traço n° 3 e 52,84% para o traço n° 4.

Trabalhabilidade

Após a produção, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme a NBR NM 67/98 (ABNT, 1998), bem como foram preenchidos os moldes cilíndricos para a confecção dos corpos de prova. Os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone podem ser visualizados no Gráfico 2.

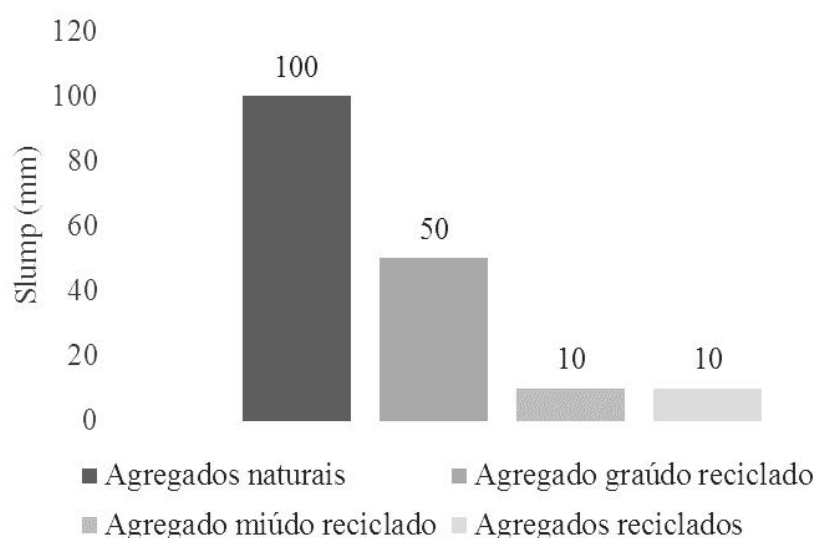


Gráfico 2 – Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone

O traço n° 2 apresentou uma boa fluidez, sendo adensado nos moldes com bastante facilidade, porém, apresentou um *slump* igual a 50 mm, valor inferior aos 100 mm apresentado pelo traço n° 1. Já o traço 3 e 4 apresentaram uma maior queda na trabalhabilidade, apresentando um *slump* igual a 10 mm, mesmo com uma massa com bom aspecto visual. Nota-se uma grande diferença de trabalhabilidade entre os traços, principalmente em relação aos que continham o pó de cerâmica reciclado. Ngwenya e Franklin (2015) também registraram uma queda na trabalhabilidade do concreto que continha agregados reciclados. Para ele, os traços compostos por tais agregados numa taxa que variava de 75% a 100% foram os que apresentaram os menores resultados.

Resistência à compressão axial

Após 28 dias da moldagem dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial. O Gráfico 3 é um gráfico que apresenta a resistência obtida aos 28 dias nos 4 traços, para cada condição de cura, além do ganho de resistência com a cura úmida.

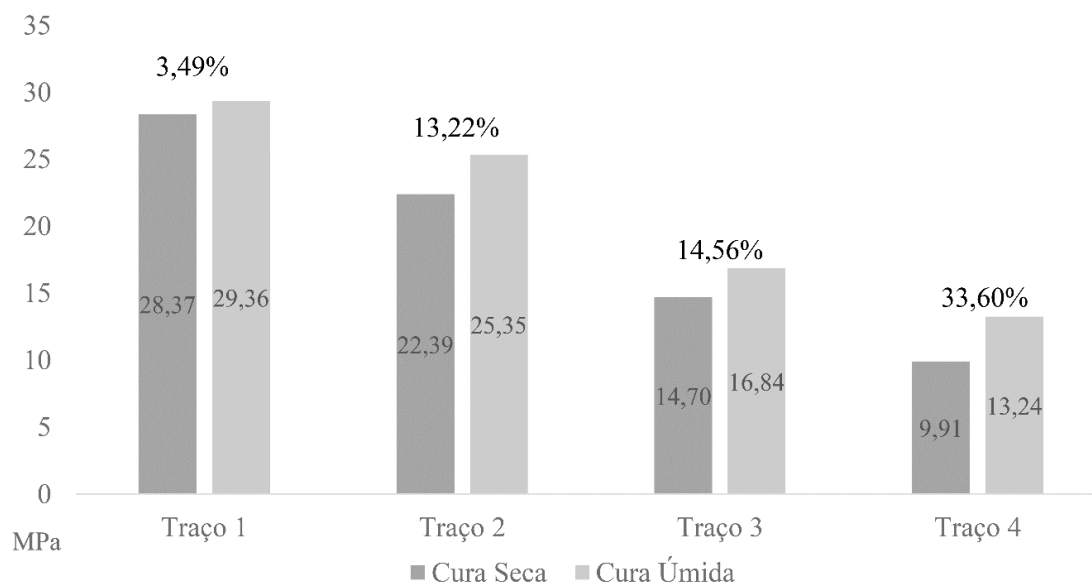


Gráfico 3 – Gráfico de resistência à compressão

Em relação à cura seca, o traço 1, composto por agregados naturais, foi o que apresentou a melhor resistência, seguido pelo traço número 2, composto por agregado graúdo reciclado, que também apresentou um resultado satisfatório. Já o traço 3 e 4, que utilizam o agregado miúdo reciclado, apresentaram resultado abaixo do esperado, além de possuírem uma trabalhabilidade muito baixa.

Andal, Shehata e Zacarias (2016) realizaram um estudo com substituição total dos agregados graúdos naturais pelos reciclados, encontrando uma resistência média correspondente à cerca de 85% da resistência obtida com os agregados naturais, valores semelhantes ao encontrado no presente trabalho.

Xiao, Li e Zhang (2005) também obtiveram resultados semelhantes, sendo que a resistência à compressão reduziu conforme o teor de substituição dos agregados naturais pelos reciclados aumentou. Com substituição total, os autores alcançaram uma resistência igual a 23,8 MPa, correspondente à cerca de 88% da resistência obtida pelo traço de controle, com agregados naturais.

Em relação à cura úmida, em todos os traços executados houve uma significativa melhora na resistência nos corpos de prova curados com imersão em água. Segundo Ambrozewicz (2012) e Ribeiro, Pinto e Starling (2013), o processo de cura úmida impede a evaporação da água utilizada para compor o traço do concreto. Helene e Levy (2013) ainda complementa que o processo de cura úmida é uma fonte adicional de água para a hidratação do cimento.

Outro objetivo proposto neste trabalho foi em relação ao melhor tipo de cura, sendo realizada uma comparação entre a resistência apresentada pelo concreto submetido a uma cura seca e uma cura úmida, sendo esta exposta no gráfico 3.

O ganho na resistência variou de 3,49% a 33,60%, sendo notável que o processo de cura úmida teve maior influência nos traços que continham agregados reciclados, pois nestes casos os próprios agregados absorvem a água que deveria reagir com o cimento, com uma intensidade maior do que os agregados naturais. Silva (2009) realizou uma comparação entre diferentes tipos de cura, evidenciando um ganho de 5,81% com a cura com imersão em água, quando comparado à cura ao ar, valor este superior aos 3,49% encontrados nessa pesquisa, analisando o traço com agregados naturais.

Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado seguindo as prescrições da NBR 5738/15 (ABNT, 2015). Foram ensaiados, para cada traço, quatro corpos de prova, sendo dois destes curados ao ar, e dois curados com imersão em água. O Gráfico 4 apresenta os resultados obtidos.

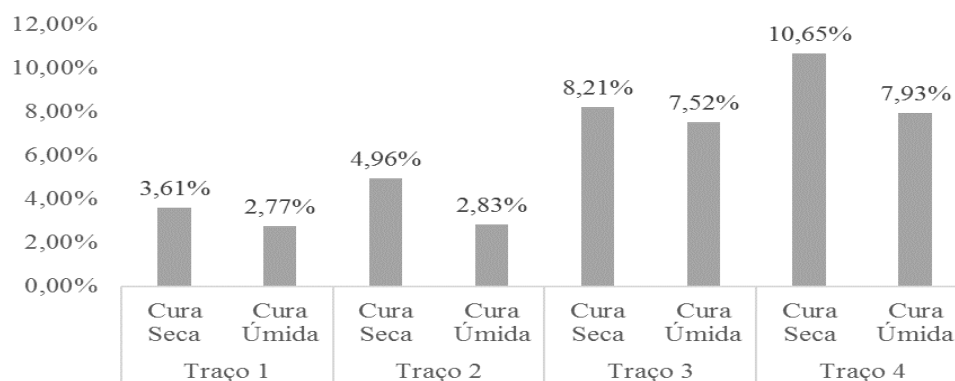


Gráfico 4 – Absorção de água

Nota-se que houve um aumento significativo na absorção de água do concreto, principalmente nos traços que fizeram uso do agregado miúdo reciclado, como o traço 3 e o 4. Esse incremento na absorção de água do concreto pode acarretar na diminuição da sua vida útil, devido à corrosão da armadura presente no mesmo, pois, segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2013), a permeabilidade está diretamente ligada à durabilidade do concreto. É possível visualizar que as amostras submetidas à cura seca apresentaram uma absorção de água superior àquelas curadas na água.

Lovato et al. (2012) registrou resultados semelhantes, havendo aumento na absorção de água quando foi utilizado agregado reciclado no concreto. Esse aumento foi mais significativo quando houve o uso de agregado miúdo reciclado, sendo que o concreto com maior absorção de água foi aquele que continha tanto o agregado graúdo quanto o miúdo reciclado.

Para Malešev, Radonjanin e Marinković (2010), o aumento na absorção de água foi mais expressivo do que no presente estudo. O autor registrou um aumento de 2,44% na absorção de água, utilizando agregados graúdos provenientes de resíduos de concreto, frente aos 1,35% expostos no gráfico 4, no caso da cura seca.

Em relação ao tipo de cura, Valin Jr. e Lima (2009) obtiveram um valor menor de absorção de água para o concreto curado com imersão em água, sendo encontrado um valor de 5,99% para este e 9,47% para o curado ao ar. Szeremeta e Silva (2013) também conseguiram uma redução na absorção de água ao curar o concreto com imersão em água, para os dois traços realizados. Desta forma, Valin Jr. e Lima (2009) afirmam que a cura úmida, durante 28 dias, é o método que oferece uma maior durabilidade para o concreto.

Segundo Hoppen et al. (2006), para que o concreto tenha uma boa qualidade a sua absorção de água deve ficar abaixo de 10%, sendo assim, somente o traço n° 4 submetido à cura seca não satisfaz esse quesito.

De acordo com Veras (2012), a alta taxa de absorção de água é um dos aspectos que mais difere o concreto convencional do concreto reciclado, sendo isso justificado pelo índice de vazios existentes na massa, que é maior no caso do concreto reciclado. O autor ainda complementa que essa alta absorção pode ser um fator que irá prejudicar a durabilidade do concreto.

Comparação de custos

Para a composição do custo de m³ de concreto foram utilizados dois traços, sendo o traço natural (n°1) e o traço com agregados graúdos reciclados (n°2), que apresentou melhores resultados. Os traços n°3 e n°4 apresentaram uma resistência muito abaixo do esperado, além de uma trabalhabilidade insatisfatória, sendo seu uso inviável em obras.

A Tabela 3 apresenta o consumo de materiais para fabricar 1 m³ de concreto convencional, com os preços unitários e totais, sendo os preços unitários obtidos no mercado local.

Tabela 3 – Orçamento do traço com agregados naturais

| Traço 1 | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|
| Material | Quantidade (kg/m ³) | Custo Unit. (R\$/kg) | Custo Total (R\$) |
| Cimento | 364,62 | R\$ 0,60 | R\$ 218,77 |
| Brita n°1 natural | 1057,41 | R\$ 0,06 | R\$ 59,21 |
| Areia natural | 749,23 | R\$ 0,08 | R\$ 59,94 |
| Água | 171,70 | R\$ 0,004 | R\$ 0,66 |
| | | Total (R\$): | R\$ 338,59 |

Fonte: Os Autores (2017)

A Tabela 4 apresenta o orçamento para o traço n°2 (agregado graúdo reciclado), também para fabricar 1 m³ de concreto.

Tabela 4 – Orçamento do traço com agregado graúdo reciclado

| Traço 2 | | | |
|---------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|
| Material | Quantidade (kg/m ³) | Custo Unit. (R\$/kg) | Custo Total (R\$) |
| Cimento | 360,79 | R\$ 0,60 | R\$ 216,47 |
| Brita n°1 reciclada | 1046,30 | R\$ 0,02 | R\$ 16,74 |
| Areia natural | 741,36 | R\$ 0,08 | R\$ 59,31 |
| Água | 180,40 | R\$ 0,004 | R\$ 0,70 |

| | | | | |
|--|--|--------------|-----|--------|
| | | Total (R\$): | R\$ | 293,22 |
|--|--|--------------|-----|--------|

Fonte: Os Autores (2017)

É possível evidenciar, quando feita uma comparação entre os orçamentos, uma significativa redução no custo referente ao agregado graúdo. O metro cúbico de agregado natural é comercializado na região por R\$ 70,00/m³. Em relação ao agregado reciclado, foi estimado pela empresa o valor de R\$ 20,00/m³, o que corresponde a uma redução de pouco mais de 70% no valor. Para o traço produzido, foi possível obter uma redução de cerca de 13% no valor do concreto, mantendo índices de resistência e trabalhabilidade.

Para comparação de custos entre o uso de agregados naturais e agregados reciclados em uma obra, foi utilizado um projeto de uma residência construída no município de Itapiranga-SC, com uma área de 103,98 m². Nesta obra, foram utilizados 19,54 m³ de concreto, conforme orçamento anexo ao projeto. Caso a legislação permitisse o uso de agregados reciclados em concreto com função estrutural, seria possível construir essa edificação economizando R\$ 886,53 reais utilizando o traço nº2, em relação ao traço com agregados naturais. Com isso, é possível notar o potencial que há na reutilização desses materiais na forma de agregado, com ganhos significativos na parte financeira, mas maiores ainda para o meio ambiente.

Conclusão

Um dos objetivos propostos para este trabalho diz respeito à análise da resistência à compressão dos diferentes traços, sendo esse um dos aspectos mais importantes a serem analisados. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que é viável o uso de agregados reciclados para a produção de concreto que não possua função estrutural, principalmente quando se faz uso de agregados graúdos provenientes da reciclagem de resíduos de concreto. Mesmo com substituição total dos agregados naturais pelos reciclados, o traço que fez uso desses resíduos apresentou uma resistência satisfatória, superando até mesmo os 25 MPa estipulados quando foi adotada a cura úmida. Contudo, os traços que utilizaram agregado miúdo provenientes da reciclagem de resíduos de cerâmica apresentaram resultados abaixo do esperado, não sendo viável a sua utilização.

Outro aspecto analisado foi a trabalhabilidade dos concretos produzidos, representada pelo valor do *slump* obtido no ensaio de abatimento do tronco de cone. Evidenciou-se uma significativa redução na trabalhabilidade dos concretos produzidos com agregados reciclados, principalmente naqueles que continham agregados miúdos de cerâmica, mesmo com um

acrécimo na água de amassamento. O traço n°2, composto por agregado graúdo reciclado, apresentou uma trabalhabilidade abaixo da ideal. Contudo, sua fluidez foi tal que ainda permitia um fácil adensamento nos moldes, o que indica que ele pode ser utilizado em obras, não oferecendo muita dificuldade para o seu adensamento em fôrmas.

Ainda em relação à trabalhabilidade, os traços n°3 e 4, que continham apenas agregados miúdos reciclados e todos os agregados reciclados, respectivamente, apresentaram uma grande queda na sua fluidez. Mesmo com um grande acréscimo na quantidade de água utilizada na mistura, que chegou a ser 52,84% maior no traço n°4, a trabalhabilidade ficou abaixo do valor mínimo necessário.

Quanto à absorção de água, evidenciou-se um acréscimo quando foram utilizados agregados reciclados, sendo os maiores valores registrados nos traços que continham agregados miúdos reciclados. Para todos os traços, houve redução na absorção de água quando os concretos foram submetidos à cura úmida, corroborando com os resultados obtidos por outros autores.

Aos processos de cura, foi evidenciado que o processo de cura úmida foi responsável por um significativo acréscimo na resistência do concreto e na sua durabilidade, devido à redução na absorção de água.

Frente aos custos de produção do concreto, o uso de agregados reciclados no concreto apresenta potencial econômico, até mesmo em obras de pequeno porte. O custo de obtenção do agregado reciclado é inferior ao agregado natural, sendo estimada uma economia de R\$50,00/m³. Essa redução permite com que seja produzido 1 m³ de concreto com traço n°2 por um valor cerca de R\$ 45,37 menor do que o traço com agregados naturais. Portanto, este traço oferece uma redução significativa no seu custo, sem comprometer a sua durabilidade, trabalhabilidade e resistência mecânica.

Referências

ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007*. São Paulo, 2007, 181 p.

_____. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014*. São Paulo, 2014, 120 p.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. *Materiais de construção*. São Paulo: Pini, 2012.

ANDAL, Jonathan; SHEHATA, Medhat; ZACARIAS, Philip. Properties of concrete containing recycled concrete aggregate of preserved quality. *Construction and Building*

Materials. [S.l.], v. 125, p. 842 – 855, out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

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

BATISTA, Cristiano Gonçalves. *Influência na resistência à compressão de concretos com agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado natural*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

CATOIA, T. et al. Concreto autoadensável de alta resistência mecânica e baixo consumo de cimento. *Revista Concreto & Construções do IBRACON*. São Paulo, n. 55, p. 48 – 55, jul./set. 2009.

CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: de acordo com a Resolução nº 44/228 da Assembleia Geral da Onu, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: a Agenda 21 – Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995.

HELENE, Paulo; LEVY, Salomon. *Boletim Técnico – Cura do concreto*. Mérida, México: ALCONPAT, 2013. Disponível em: < <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2017.

HOPPEN, Cinthya; PORTELLA, Kleber F.; JOUKOSKI, Alex; TRINDADE, Eduardo M.; ANDREÓLI, Cléverson V. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em

matriz de concreto de cimento Portland para reduzir impacto ambiental. *Quim Nova*, [S.l.], v. 29, no. 1, p. 79-84, 2006.

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

LEITE, Vinicius Fares. *Certificação ambiental na construção civil – sistemas LEED e AQUA*. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LOVATO, Patrícia S.; POSSAN, Edna; MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal; MASUERO, Ângela B.; RIBEIRO, José Luis D. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, [S.l.], v. 26, p. 437-447, jan. 2012.

MALEŠEV, Mirjana; RADONJANIN, Vlastimir; MARINKOVIĆ, Snežana. Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*. [S.l.], v. 2, p. 1204 – 1225, 2010.

MEDINA, César et al. Influence of mixed recycled aggregate on the physical – mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*. [S.l.], v. 68, p. 216 – 225, abr. 2014.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Élcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986 – 2008. *Revista Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57 – 71, jan./mar. 2009.

NGWENYA, Legae M.; FRANKLIN, Shodolapo Oluyemi. Influence of Recycled Coarse Aggregate on some Properties of Fresh and Hardened Concrete. *IJISSET – International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, [S.l.], v. 2, p. 257-264, dez. 2015.

OLIVEIRA, Bárbara Tannus de. *Uso de resíduos de construção e demolição em argamassas para revestimento de alvenaria*. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon de. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. *Revista Direitos Fundamentais &*

Democracia. Curitiba, v. 6, p. 1 – 25, 2009.

PEDROSO, Fábio Luis. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Revista Concreto & Construções do IBRACON*. São Paulo, n. 53, p. 14 – 19, jan./mar. 2009.

PINTO, Tarcísio de Paula. *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP*. São Paulo: SindusCon-SP, 2005.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. *Materiais de construção civil*. 4. ed. rev. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

SILVA, Bruno Araújo. *Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto*. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009.

SILVA, Luiz Ricardo Amaro da. *Utilização do entulho como agregado para a produção de concreto reciclado*. Niterói: UFF, 2004.

SOKOLOVICZ, Bóris Casanova. *Microestrutura e durabilidade a cloretos de protótipos de concreto com cinza de casca de arroz com e sem moagem prévia*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SZEREMETA, Andre; SILVA, Nerycarlos Loureiro da. *Estudo da variação na resistência a compressão de concretos convencionais devido aos diferentes tipos de cura*. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

VALIN JR, Marcos de Oliveira; LIMA, Sandra Maria de. *Influência dos procedimentos de cura na resistência e absorção do concreto*. 2009. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2009. Departamento da Área Educacional de Construção Civil do IFMT – Campus Cuiabá.

VERAS, Luciana Meira. *Estudo das propriedades do concreto com diferentes proporções de agregados de resíduos de construção civil com e sem saturação prévia*. Dissertação de mestrado (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

WERLE, Ana Paula. *Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto, com ênfase na carbonatação*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

XIAO, Jianzhuang; LI, Jiabin; ZHANG, Ch. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. *Revista Cement and Concrete Research*. [S.l.], n. 35, p. 1187-1194, 2005.

ZHOU, Chunheng; CHEN, Zongping. Mechanical properties of recycled concrete made with diferente types of coarse aggregate. *Construction and Building Materials*. [S.l.], v. 134, p. 497 – 506, mar. 2017.