

AVALIAÇÃO DO USO DE AGREGADOS RECICLADOS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO

EVALUATION OF THE USE OF RECYCLED AGGREGATES IN THE FABRICATION OF CONCRETE

Recebido: 26/06/2019
Aceito: 22/05/2020

Geisa Rodrigues dos Reis¹
Cibelly Peixoto da Silva²
Henrique Jorge Nery de Lima³

RESUMO

A construção civil é um ramo de grande importância para a economia do país, no entanto, é responsável por extrair grandes quantidades de matéria prima da natureza, além de produzir um grande volume de entulho proveniente de suas atividades. A disposição inadequada desses materiais pode ocasionar problemas de cunho ambiental e que afetam a qualidade de vida urbana. Em função disso, percebe-se a necessidade de buscar novos procedimentos para diminuir os impactos ambientais, como a reciclagem e reutilização dos entulhos produzidos. Esses entulhos podem ser triturados e transformados em agregados como areia, pedrisco, brita e rachão. O objetivo deste trabalho é estudar as propriedades físicas e mecânicas do concreto reciclado, bem como avaliar sua eficiência, buscando proporcionar uma alternativa eficaz para a grande quantidade de resíduos que é gerada no setor da construção civil. Para alcançar os objetivos propostos, o processo experimental iniciou-se com a aquisição e caracterização do material reciclado. Após, foi realizado a dosagem e confecção do concreto com agregado reciclado e com agregado convencional, a fim de avaliar os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova moldados com diferentes porcentagens de agregado reciclado miúdo e graúdo (20%, 50% e 100%), de forma a concluir se o concreto com agregado reciclado possui as características exigidas para ser utilizado, sem fim estrutural. De maneira geral, pode-se concluir que os agregados reciclados são viáveis tecnicamente e podem atingir valores de resistência à compressão próximos da resistência do concreto fabricado com brita 1 e areia média, ou até superiores, sendo necessário controle quanto a sua execução.

Palavras-chave: Agregado Reciclado. Concreto. Construção Civil.

ABSTRACT

The civil construction industry has a major role in the economy of a country, although it is responsible for extracting large amounts of raw material from the nature, as well as producing a large amount of rubble from its activities. The improper disposal of these materials can

¹ Engenheira civil pelo Centro Universitário UDF - 2019. E-mail: geisarodrigues05@gmail.com

² Engenheira civil pelo Centro Universitário UDF - 2019. E-mail: cibellypeixoto22@hotmail.com

³ Doutorado em andamento em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília - UnB. E-mail: hjnery@gmail.com

cause environmental problems and affect the quality of urban life. As a result, it is necessary to seek new procedures to reduce environmental impacts, such as the recycling and reuse of the waste material. This waste material can be crushed and transformed into aggregates such as sand, hail, gravel and rock. This work aims to study the characteristics of recycled concrete as well as evaluate its efficiency, seeking to provide an effective alternative to the large amount of waste that is generated by the construction industry. To achieve those goals, the experimental process started with the acquisition and characterization of the recycled material and then, the concrete with recycled aggregate and with conventional aggregate were dosed and fabricated. Based on the compressive strength test results of samples with different percentages of recycled aggregate (20%, 50% and 100%), it was evaluated the suitability of the use of recycled aggregate for a nonstructural purpose. In general, it was concluded that the recycled aggregates are technically feasible and its compressive was shown to be close or even higher than the one measured in conventional aggregates, although it requires the production quality control.

Keywords: Recycled Aggregate. Concrete. Construction.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor de grande importância para o desenvolvimento econômico do país, responsável por 4,5% do PIB brasileiro (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2019), gera empregos e renda para a população. No entanto, o segmento não se destaca apenas pela grande importância econômica, mas por extrair grandes quantidades de matéria prima da natureza e ainda causar danos ambientais pela má disposição dos resíduos produzidos em suas atividades.

A resolução nº 307 de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece no art. 2º que Resíduos da Construção Civil (RCC) são aqueles oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os decorrentes da preparação e da escavação de terrenos. Segundo a Plataforma VG Resíduos (2017), *software online* especializado na gestão de resíduos, o volume gerado pelo setor da construção civil chega a 33 mil toneladas por ano. Esse dado se agrava quando se constata que grande parte desse volume não é descartado da maneira correta, sendo depositado em aterros clandestinos, ocasionando problemas como a degradação da qualidade de vida urbana em aspectos como as enchentes, poluição visual e proliferação de vetores de doenças. Em função disso, percebe-se a necessidade de se buscar novos procedimentos, como a reciclagem e reaproveitamento do rejeito, tanto para dar um destino apropriado aos resíduos quanto para conservação de recursos naturais.

Após a Segunda Guerra Mundial houve a primeira aplicação expressiva da reciclagem de resíduos, uma vez que ela resultou em uma grande quantidade de entulho e escombros. Esses entulhos foram britados e usados na produção de agregados, que foram utilizados na reconstrução das cidades europeias (WEDLER e HUMMEL, 1946). Apesar de ser uma prática antiga, no Brasil somente em 2002 surge a resolução CONAMA nº307, que estabelece diretrizes e procedimentos para a gestão dos RCC, e em 2010 a lei nº

12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta última objetiva a criação de hábitos de gerenciamento e controle dos resíduos sólidos, buscando reduzir a produção e aumentar a reciclagem e reutilização desses resíduos, além de destinar adequadamente aqueles materiais que não podem ser reciclados ou reaproveitados.

Quando triturados e transformados em agregados como areia, pedrisco, brita e rachão, o RCC reciclado dispõe de diversas aplicações, como em blocos de concreto para vedação, pavimentação, contrapiso, contenção, mobiliário urbano, peças pré-moldadas para esgotamento sanitário e drenagem, dentre outras. Mesmo com a constante evolução das técnicas de reciclagem dos RCC e das diversas vantagens, essa especialidade ainda não é amplamente difundida.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é estudar as características do concreto reciclado, bem como avaliar sua eficiência, buscando proporcionar uma alternativa eficaz para a grande quantidade de resíduos que é gerada no setor da construção civil.

Foram realizados ensaios de caracterização dos agregados de acordo com a ABNT NBR 15116 (2004), a fim de verificar os requisitos para se utilizar o agregado reciclado em concreto sem função estrutural, e ensaio de resistência à compressão do concreto seguindo a ABNT NBR 5739 (2018), para fins de comparação dos corpos de prova com agregado convencional e reciclado, de forma a analisar a viabilidade técnica do uso de agregados reciclados na confecção de concretos.

2. CONCRETO RECICLADO

Para melhor aplicação e confiabilidade do concreto reciclado se faz necessário conhecer suas propriedades, uma vez que estas influenciam diretamente nos aspectos de resistência, durabilidade e desempenho do concreto. Suas características dependem de diversos elementos como a composição do agregado reciclado, que é heterogênea e variada, bem como do equipamento utilizado para britar o entulho. Isto posto, a caracterização dos agregados reciclados é de fundamental importância para determinar suas propriedades, sendo assim foi encaminhado ao laboratório de ensaio do Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil (IST) um lote de agregados, o qual foi doado pela empresa Fornecedora de Areia Bela Vista. A amostra para a realização dos ensaios foi obtida em consonância com a ABNT NBR NM 27 (2001), e a realização dos ensaios de acordo com a ABNT NBR 15116 (2004). Os resultados são apresentados neste trabalho.

2.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO RECICLADO

2.1.1 Massa específica

Concretos produzidos com agregados reciclados tendem a possuir massa específica menor que a do concreto convencional, bem como maior teor de vazios. Segundo estudos de Juan e Gutiérrez (2004), a porosidade da camada de argamassa que

envolve o agregado original influencia as propriedades do agregado reciclado. Assim, quanto maior for a camada de argamassa aderida, maior será o nível de absorção de água e conseqüentemente menor será sua densidade. Como consequência do maior índice de porosidade se obtém peças de concretos mais leves que peças produzidas com agregados convencionais, entretanto essa porosidade pode afetar negativamente a resistência da peça.

A massa específica é de fundamental importância para proceder o estudo de dosagem do concreto. Portanto, como há distinção entre os valores de massa específica do agregado reciclado e agregado convencional deve ser realizada uma correção da quantidade de materiais a ser usado no traço de concreto.

2.1.2 Trabalhabilidade

Diversos estudos constatam que concretos reciclados no estado fresco apresentam uma grande perda de trabalhabilidade comparado ao concreto convencional, a qual pode ser entendida pelo fato do agregado reciclado possuir um índice de absorção de água maior. Isto contribui consideravelmente para diminuir a trabalhabilidade do concreto devido ao agregado sugar uma parte da quantidade de água que antes era destinada a dar trabalhabilidade à mistura.

Lye, Dhir e Ghataora (2016) afirmam que os agregados reciclados provenientes de materiais cerâmicos menos porosos apresentam grãos lamelares, e agregados reciclados de materiais cimentados apresentam predominância de grãos cúbicos. Segundo estudos de Watanabe (2008) para se obter um concreto com alta resistência deve-se evitar agregados com grãos alongados e achatados, do contrário, faz-se necessário aumentar a quantidade de água na mistura para se atingir uma melhor trabalhabilidade.

A trabalhabilidade pode ser medida de acordo com o ensaio de Abatimento do Tronco de Cone contido na ABNT NBR NM 67 (1998), o qual é realizado pela medição da consistência e fluidez do concreto. Isto possibilita a correção do fator água/cimento (a/c) do traço e que a trabalhabilidade adequada ao uso seja atingida.

2.1.3 Resistência à compressão

Segundo Bazuco (1999) o concreto de origem é um limitador da potencial resistência que pode ser alcançada pelo concreto com agregado reciclado e isto se dá devido à resistência da pasta que envolve o agregado reciclado tender a superar a resistência destes. Assim, os agregados acabam por limitar a resistência do concreto ao se romperem primeiro.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o objetivo de analisar a propriedade mecânica do agregado reciclado, esta pesquisa experimental tem como foco a caracterização dos agregados graúdos e miúdos oriundos da reciclagem dos RCC e sua utilização na fabricação de concreto para fins não estruturais.

Para alcançar os objetivos propostos, o procedimento experimental foi dividido em duas etapas, sendo a primeira a obtenção e caracterização do material reciclado e a segunda a realização da dosagem e confecção do concreto com agregado reciclado e agregado convencional, a fim de avaliar os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

3.1 AQUISIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO

O material utilizado no ensaio de caracterização foi fornecido pela empresa Fornecedora de Areia Bela Vista. Localizada em Brasília, a empresa recebe somente resíduos da construção civil de classe A e, para obtenção do agregado reciclado, ela dispõe de um britador de mandíbula que produz areia fina, areia média, pedrisco, brita 1, brita 2 e rachão. Neste estudo, optou-se pelo uso da areia média e brita 1.

O lote fornecido para a realização dos ensaios foi obtido em consonância com a ABNT NBR NM 26 (2009), retirando-se amostras de diversos pontos da pilha de materiais reciclados e excluindo-se a camada externa sujeita a segregação do material mais grosso para garantir que a amostra coletada fosse a mais representativa possível.

A caracterização dos agregados reciclados foi realizada no Laboratório de Ensaio do Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil – IST visando-se apontar as principais características do agregado proveniente do RCC que influenciam diretamente nas propriedades do concreto produzido com ele. Os ensaios realizados são apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Ensaio realizados no IST

Propriedade	Material ensaiado	Ensaio/Norma
Composição Granulométrica	Agregado graúdo e agregado miúdo	Determinação da composição granulométrica. ABNT NBR NM 248
Massa específica	Agregado graúdo	Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. ABNT NBR NM 53:2009

Propriedade	Material ensaiado	Ensaio/Norma
Massa específica	Agregado miúdo	Determinação da massa específica e massa específica aparente ABNT NBR NM 52:2009
Massa unitária seca	Agregado graúdo e agregado miúdo	Determinação da massa unitária e do volume de vazios ABNT NBR 45:2006

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2 DOSAGEM E CONFECÇÃO DO CONCRETO RECICLADO

3.2.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto foi realizada pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) a fim de encontrar a melhor proporção dos materiais utilizados na fabricação do concreto, tomando como base os resultados obtidos nos ensaios de massa específica e unitária dos agregados.

Como parâmetro de entrada foi adotado um concreto fabricado com o cimento CPPII-Z 32, com resistência característica à compressão aos 28 dias (de 30MPa e um desvio padrão (Sd) de 4MPa, sendo admitida a condição A, a qual aplica-se a todas as classes de concreto.

Como valor esperado no ensaio de abatimento do tronco de cone atribuiu-se um *slump* de 80 a 100mm. Para a massa específica do cimento e massa específica da água foi considerado os valores de 3100 kg/m³ e 1000 kg/m³ respectivamente.

Obteve-se assim o seguinte traço experimental para um concreto produzido com 100% de agregado reciclado.

Com o intuito de verificar o desempenho do concreto com diferentes proporções de agregado reciclado, optou-se por substituir total e parcialmente os agregados graúdos e miúdos convencionais pelos agregados graúdos e miúdos reciclados. Foram adotados percentuais de substituição iguais a 20%, 50% e 100% para cada tipo de agregado (miúdo e graúdo).

3.2.2 Execução do concreto com agregados reciclados

Devido ao agregado reciclado ter como uma das principais características a alta taxa de absorção, optou-se por sua umidificação antes do início do ensaio, assim

quando a água já dimensionada para o traço é adicionada à betoneira o agregado não absorve todo o líquido garantindo uma trabalhabilidade mínima a mistura.

Para a mistura dos materiais foi utilizado uma betoneira do Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário do Distrito Federal – UDF, com capacidade para até 120 litros, fabricada em 5 de setembro de 2011 pela Menegotti. Para todos os traços realizados foi seguida a mesma sequência para adição dos materiais, iniciando-se pela brita e metade da água, deixando-se misturar por 1 minuto, prosseguindo-se com a adição da areia, cimento e a outra metade de água, misturando-se durante 3 minutos. Ressalta-se que, após a realização do ensaio de consistência, a mistura voltava à betoneira por mais 1 minuto antes de seguir para a moldagem dos corpos de prova.

3.2.3 Ensaio de consistência

O ensaio de consistência foi realizado ao fim de cada traço, em consonância com a ABNT NBR NM 67 (1998). O abatimento pode ser visto nas fotografias 1 e 2.

Fotografia 1 - Traço com 20% de substituição



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Fotografia 2 - Traço convencional



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

3.2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem e cura dos corpos de provas foram executadas em concordância com a ABNT NBR 5738 (2015). Para cada traço realizado foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, curados submersos em um tanque contendo uma solução feita de água e cal até o dia de sua ruptura.

3.2.5 Ensaio de resistência mecânica à compressão do concreto

O ensaio de resistência mecânica à compressão do concreto foi realizado nas idades de 7, 21 e 28 dias, segundo a ABNT NBR 5739 (2018). A ruptura do concreto foi realizada por uma prensa manual do Laboratório de Construção Civil do UDF, fabricada

em 5 de julho de 2013 pela Contenco e com capacidade para até 100 toneladas. Como pode ser visto nas fotografias 3 e 4.

Fotografia 3 - Traço com 20% de substituição **Fotografia 4** - Traço com 100% de substituição



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A composição granulométrica dos agregados deve atender aos limites estabelecidos pela da ABNT NBR 7211 (2009). Foram obtidos os seguintes resultados quanto à composição granulométrica das amostras.

Quadro 2 - Composição granulométrica da amostra de agregado miúdo reciclado

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - AGREGADO MIÚDO							
PENEIRAS	AMOSTRA N° 01		AMOSTRA N° 02		Porcentagem Retida Média (%)	Porcentagem Retida Média Acumulada (%)	Cálculo do Módulo de Finura
Abertura (mm)	Massa Retida (g)	Porcentagem Retida (%)	Massa Retida (g)	Porcentagem Retida (%)			
4,75	26,00	2,80	31,00	3,20	3,00	3,00	2,99
2,36	124,00	13,20	113,00	11,70	12,45	15,45	15,43
1,18	104,00	11,00	111,00	11,50	11,25	26,70	26,71
0,60	94,00	10,00	109,00	11,30	10,65	37,35	37,35
0,30	211,00	22,40	191,00	19,80	21,10	58,45	58,46
0,15	291,00	30,90	320,00	33,20	32,05	90,50	90,50

Pó	92,00	9,80	89,00	9,20	9,50	100,00	-
TOTAL	942	-	964	-	-	-	2,31
MÓDULO DE FINURA						2,31	
MASSA ESPECÍFICA						2,63 g/cm ³	
MATERIAL FINO						2,80%	
MASSA UNITÁRIA SECA						1398,61 kg/m ³	
DIÂMETRO MÁXIMO CARACTERÍSTICO						4,80 mm	

Fonte: Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil

A ABNT NBR 7211 (2009) indica que o módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. Assim, o agregado da amostra está entre a zona utilizável inferior, indicando que o material possui grãos finos, e a zona utilizável superior, que indica que o material possui grãos mais grossos, sendo então classificado como areia média.

Com relação ao material pulverulento, a ABNT NBR NM 46 (2003), estipula para concreto submetido a desgaste superficial o valor máximo de 3% de massa passante na peneira 0,075mm, e para concretos protegidos de desgaste superficial o valor máximo de 5%. O material analisado está, portanto, dentro dos limites para ambas as situações.

Quadro 3 - Composição granulométrica da amostra de agregado graúdo reciclado

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRAÚDO							
PENEIRAS	AMOSTRA N° 01		AMOSTRA N° 02		Porcentagem Retida Média (%)	Porcentagem Retida Média Acumulada (%)	Cálculo do Módulo de Finura
	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	Porcentagem Retida (%)	Massa Retida (g)			
19,00	18,00	1,80	16,00	1,60	1,70	1,70	1,70
12,50	123,00	12,30	171,00	17,10	14,70	16,40	-
9,50	210,00	21,00	196,00	19,60	20,30	36,70	36,70
6,30	614,00	61,40	584,00	58,40	59,90	96,60	-
4,75	35,00	3,50	33,00	3,30	3,40	100,00	100,00
2,36	-	-	-	-	-	100,00	100,00
1,18	-	-	-	-	-	100,00	100,00
0,60	-	-	-	-	-	100,00	100,00
0,30	-	-	-	-	-	100,00	100,00
0,15	-	-	-	-	-	100,00	100,00

Pó	-	-	-	-	-	100,00	-
TOTAL	1000	-	1000	-	-	-	6,38
MÓDULO DE FINURA						6,38	
MASSA ESPECÍFICA						2,56 g/cm³	
MASSA UNITÁRIA SECA						1456,68 kg/m³	
DIÂMETRO MÁXIMO CARACTERÍSTICO						19 mm	

Fonte: Instituto SENAI de Tecnologia em Construção Civil

A ABNT NBR 7211 (2009) também estabelece a zona granulométrica do agregado graúdo, sendo ela determinada pela menor dimensão (d) e a maior dimensão (D) do agregado. Para o material em questão, foi obtida a zona 9/25, ou seja, uma granulometria contínua, o que influencia diretamente na trabalhabilidade e resistência à compressão do concreto, por apresentar menos vazios entre os grãos.

A ABNT NBR NM 46 (2003) determina para agregados graúdos o valor máximo de 1% de massa passante na peneira 0,075mm. Como o material ensaiado não apresenta nenhuma porcentagem de material fino, obedece ao limite.

4.2 TRAÇOS REALIZADOS

Foram realizados 4 traços de concreto, sendo o primeiro com agregado convencional, adotando-se um traço de 1:2:2,5:0,5, com base no traço utilizado no Laboratório de Construção Civil do UDF, o segundo com substituição total dos agregados convencionais por agregados reciclados e os demais substituindo parcialmente o agregado convencional pelo reciclado.

No quadro 4 é apresentado o quantitativo de materiais usados para a confecção de cada traço.

Quadro 4 - Consumo de materiais

CONSUMO DE MATERIAIS						
TRAÇO	CIMENTO (kg)	BRITA 1 (kg)	BRITA 1 RECYCLADA (kg)	AREIA MÉDIA (kg)	AREIA MÉDIA RECYCLADA (kg)	ÁGUA (kg)
CONVENCIONAL	4,50	11,25	-	9,00	-	2,25
20% AGREGADO RECYCLADO	5,50	10,00	2,50	6,10	1,55	2,5
50% AGREGADO RECYCLADO	5,50	6,25	6,25	3,80	3,85*	2,5

100% AGREGADO RECICLADO	5,50	-	12,50	-	7,65	2,5
-------------------------------	------	---	-------	---	------	-----

*Obs: Devido à balança utilizar apenas múltiplos de 5, adotou-se o maior consumo para o agregado reciclado

Fonte: Elaborada pelo autor

O quadro 5 apresenta os resultados obtidos na execução do ensaio de abatimento do tronco de cone, realizado em consonância com a ABNT NBR NM 67 (1998).

Quadro 5 - Resultado do ensaio de consistência do concreto

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	
TRAÇO	ABATIMENTO (mm)
TRADICIONAL	23,00
20% AGREGADO RECICLADO	36,00
50% AGREGADO RECICLADO	64,00
100% AGREGADO RECICLADO	91,00

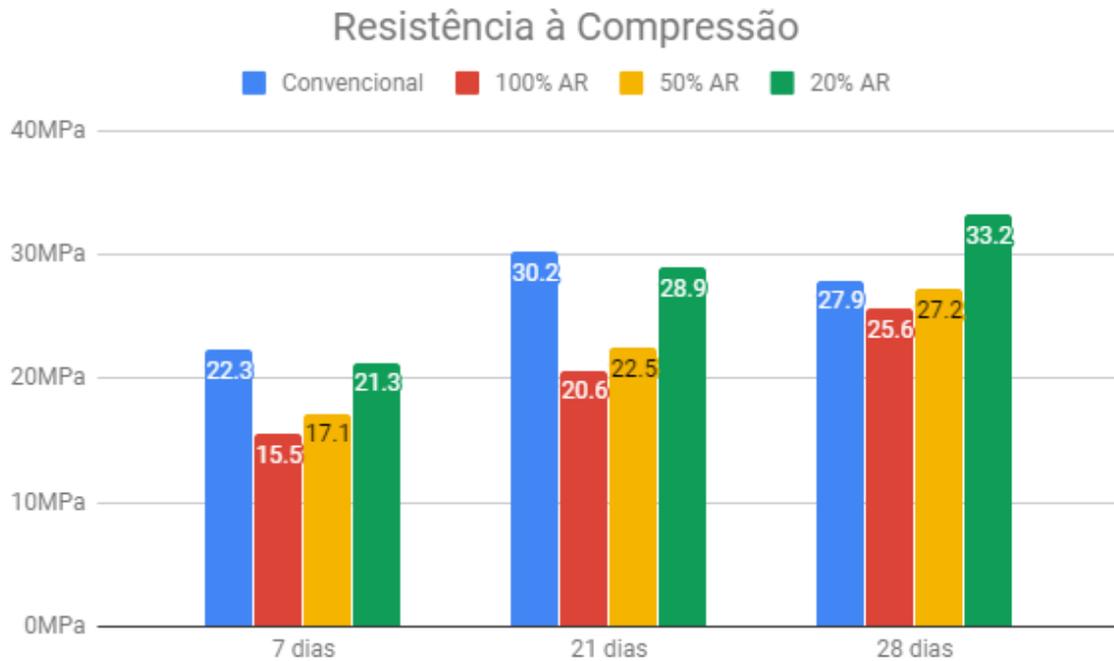
Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Foi adotado na dosagem do traço realizado pelo método da ABCP um valor de abatimento variando de 80mm a 100mm, ou seja, uma mistura mais trabalhável. Analisando os resultados encontrados, nota-se que apenas o traço com substituição total dos agregados alcançou o abatimento desejado e que, à medida em que o percentual de substituição do agregado reciclado foi reduzido, o abatimento também diminuiu. Isso pode ser justificado pelo fato de que optou-se por umedecer os agregados reciclados antes de colocá-los na betoneira para serem misturados aos outros agregados, como medida de controle para sua característica de alta absorção de água e garantia de que haveria água suficiente para dar trabalhabilidade à mistura.

4.3 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a ABNT NBR 5739 (2018) nos períodos de 7, 21 e 28 dias. Foram rompidos dois corpos de prova para cada idade, sendo adotado a média do valor entre elas. O gráfico 1 apresenta os resultados obtidos.

Gráfico 1 - Evolução da resistência à compressão do concreto



Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Conforme pode ser visto no gráfico 1, somente a amostra de referência (concreto convencional) aos 21 dias e a amostra com 20% de agregado reciclado aos 28 dias atingiram o f_{ck} de referência, embora os demais valores encontrados tenham ficado próximos a 30MPa, sendo a maior variação do percentual aos 28 dias de 14,67% em relação ao f_{ck} de referência.

Com base nos resultados, pode-se observar que o concreto convencional sofreu um ganho de resistência nos primeiros 21 dias e uma perda de 2,3MPa nos últimos 7 dias. Essa variação pode ter sido influenciada pela moldagem dos corpos de prova e execução do ensaio de resistência à compressão, uma vez que o equipamento usado na sua realização era manual e a variação da velocidade de aplicação de força no corpo de prova pode influenciar diretamente no resultado.

O concreto com substituição total dos agregados apresentou um desenvolvimento de resistência progressivo chegando a 25,6MPa, entretanto nota-se que para as idades de 7 e 21 dias a diferença em relação ao concreto de referência ultrapassa 30%. Bazuco (1999) observou em seu estudo que com o aumento do percentual de agregados reciclados na mistura a resistência à compressão se distanciou daquela medida no concreto de referência, sendo isto justificado pela origem do agregado, obtido de um concreto com baixa resistência. Leite (2001), em sua pesquisa, obteve para uma relação a/c igual a 0,45 e substituição total dos agregados convencionais uma resistência de 27,4MPa, sendo este valor equivalente a uma redução de 13,3% em relação à do concreto de referência.

No entanto, para valores da relação a/c igual ou superior a 0,60 atingiu-se resistências maiores que a dos agregados convencionais.

O concreto com 50% de agregado reciclado e 50% de agregado convencional alcançou uma resistência de 27,2 MPa aos 28 dias, resistência superior àquela alcançada com a substituição total dos agregados. Esse aumento ocorreu devido à parcela de resistência conferida pelo agregado convencional.

O concreto com percentual de 20% de agregado reciclado alcançou a maior resistência dentre os traços realizados e apesar do agregado reciclado possuir uma tendência a diminuir a resistência à compressão devido a sua maior porosidade Tenório (2007) conclui que a porosidade pode produzir uma melhor aderência entre os agregados e nova pasta de cimento. Essa ligação entre a pasta e o agregado é segundo Teodoro (2013) um dos fatores básicos para se alcançar uma boa resistência.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise das propriedades mecânicas do concreto produzido com agregado reciclado, podendo-se concluir que, de acordo com a resistência à compressão aos 28 dias, o concreto com o melhor desempenho foi o concreto produzido com substituição de 20% de agregados reciclados, sendo então possível a utilização deste teor de substituição para concretos sem fins estruturais. Para se obter maiores resistências, aconselha-se o acréscimo de aditivo ou a utilização de agregados reciclados com maiores índices de massa específica.

De maneira geral, é possível constatar que os concretos realizados com agregados reciclados podem atingir valores de resistência à compressão próximos daquela alcançada com agregados convencionais ou até superiores, sendo necessário um controle quanto a sua dosagem e fabricação.

Assim, sabendo da tendência de esgotamento dos recursos naturais utilizados na fabricação do concreto e do grande volume de entulho gerado pelo setor da construção civil no país, espera-se que esta pesquisa ajude a difundir o uso de agregado reciclado na fabricação de concreto sem fim estrutural como uma alternativa eficaz para remediar estes problemas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 27**: Agregados - Redução

da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento, e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015 Versão corrigida 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015 Errata 1:2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: Informação e documentação – Citação em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

BAZUCO, R.S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1999, 112p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 3-7, 03 out. 2010. PL 203/1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 5 jul. 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **PIB Brasil e Construção Civil**. [S.l.], 28 fev. 2019. Tabela_02.D.05_12. Disponível em: <http://www.cibicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 04 mar. 2019.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. 316 p. Part One: Recycling aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1 - 160. (RILEM TC Report 6).

JUAN, M. S.; GUTIÉRREZ, P. A. **Influence of recycled aggregate quality on concrete properties: use of Recycled Materials in Buildings and Structures**. Barcelona. RILEM Publications, 2004, pp. 545- 553.

LEITE, M.B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001, 270 p.

LYE, C.; DHIR, R.K.; GHATAORA, G.S. **Shrinkage of recycled aggregate concrete**. Structures and Buildings 169. 2016. Issue SB 12. Pages 867-891.

PRODETEC. **Pesos específicos dos materiais**. Tabela 1 - Materiais soltos. Disponível em: http://www.prodetec.com.br/downloads/pesos_especificos.pdf. Acesso em: 15 fev. 2019.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SHAYAN, A.; XU, A. Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate. **ACI Materials Journal**, v. 100, n. 5, p. 371-380, sep 2003.

TENÓRIO, J.J.L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007, 138p.

TEODORO, S.B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2013, 65 p.

VG RESÍDUOS. **Resíduos da Construção Civil: construindo valores de sustentabilidade**. [S.l.]. 22 mar. 2017. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-da-construcao-civil-construindo-valores-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 31 jan. 2019.

WATANABE, Paula Sumie. **Concretos Especiais – Propriedades, materiais e aplicações**. 2008. Relatório Final de Pesquisa da Bolsa de Iniciação Científica FAPESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru, 2008.

WEDLER, B.; HUMMEL. A. **Trümmerverwertung und Ausbau von Brandruinen**. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 1946. 190 p.