

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA COM AGREGADOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Jackson Deliz Ditz (Faculdade Meridional) E-mail: jackson.ditz@imed.edu.br
Louise Chiarello Amaro. E-mail: louisechiarello@hotmail.com

Resumo: Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são gerados na grande e muitas vezes desordenada indústria da construção civil brasileira. A reutilização desses materiais em concretos de alta resistência, que geram impactos ambientais consideráveis, é objetivo desse estudo. Para isso, propõe-se a substituição parcial do agregado miúdo e graúdo natural (areia de rio) pelo agregado reciclado disponível na região de aplicação deste estudo em diferentes proporções para um concreto de 80 MPa de resistência à compressão, avaliando-se a não só a resistência à compressão, mas também à tração e fixando o valor do abatimento no ensaio de *Slump Test*. Como resultados dos ensaios de caracterização desse agregado, observou-se a menor massa específica do agregado reciclado em relação ao natural e uma similar granulometria *in natura*, mas que em alguns pontos não se enquadrou dentro da faixa utilizável da NBR 7211:2009. A resistência à compressão teve redução de 37% a 69% quando utilizado agregado reciclado, dependendo da dosagem, fazendo com que algumas misturas ainda possam ser classificadas como de alta resistência, segundo a NBR 6118:2014. Em relação a resistência à tração, observou-se uma variação negativa de 5% a 50% em relação a mistura com agregados naturais, também dependendo da mistura analisada.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição, RCD, agregados reciclados, q concreto de alta resistência.

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH RESISTANCE CONCRETE WITH CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE AGGREGATES

Abstract: Construction and demolition waste (RCD) is generated in large scale and often disordered in Brazilian construction industry. The reuse of such wastes as aggregate in concrete is desirable in order to reduce the use of natural resources, emission of greenhouse gases and the irregular and exaggerated disposal of these materials in the environment, providing a more sustainable concrete. The reuse of these materials in concrete of high resistance, which generate considerable environmental impacts, is the objective of this study. In order to do so, it is proposed to partially replace the natural fine and large aggregate by the aggregate recycled available in the region of application of this study in different proportions for a concrete of 80 MPa of compressive strength, evaluating not only the compressive strength, but also tension and setting the rebate value in the *Slump Test*. As results of the characterization tests of this aggregate, it was observed the lower specific mass of the recycled aggregate in relation to the natural one and a similar granulometry *in natura*, but in some points it did not fit into the usable range of NBR 7211:2009. The compressive strength was reduced from 37% to 69% when using recycled aggregate, depending on the dosage, causing some mixtures to still be classified as high strength, according to NBR 6118:2014. In relation to the tensile strength, a negative variation of 5% to 50% was observed in relation to the mixture with natural aggregates, also depending on the mixture analyzed.

Keywords: Construction and Demolition Waste, RCD, recycled aggregates, High Strength Concrete

1. Introdução

A indústria da construção gera uma grande parte dos resíduos sólidos urbanos. Parte destes, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), podem ser reutilizados nas próprias obras de engenharia. Vieira (2003) define RCD como um material remanescente originado de atividades de demolição de obras civis.

Os RCDs correspondem a mais de 60% dos resíduos sólidos urbanos e, além desse alto valor, a deposição irregular desses resíduos em áreas urbanas é um sério problema (PINTO, 2005).

Para Tam et al. (2018) a produção dos RCDs praticamente dobrou entre 2007 e 2014, passando de 20 a 40 bilhões de toneladas no mundo. Segundo os autores, países como China, Índia, Indonésia, Malásia, Tailândia, Turquia, Rússia, Brasil e México se destacam pelo aumento na produção destes resíduos. Em 2014, sozinha, a China produziu 38% dos RCDs no mundo todo; somadas, as Américas do Sul e Central foram responsáveis por 6% da produção mundial.

No trabalho realizado por Tam et al. (2018), afirma-se também que a produção de RCDs no Brasil foi de 101 milhões de toneladas em 2014, dos quais apenas 6,14% foram recuperados e reaproveitados. Para se ter uma ideia em relação a outros países, a Holanda, por exemplo, reaproveitou 98% dos seus resíduos, a Austrália mais de 62%, a China 40% e o continente africano todo reutilizou 16% dos seus resíduos.

A substituição dos agregados naturais do concreto por agregados reciclados apresenta uma série de vantagens em relação ao meio ambiente, tais como redução na emissão de CO₂ na atmosfera, redução na extração da matéria-prima dos rios e redução do acúmulo de RCD nas áreas urbanas (FÉLIX ET AL., 2016). Para Yehia et al. (2015), a qualidade do agregado reciclado depende fundamentalmente das condições de carga e exposição das estruturas demolidas.

A pesquisa de Araújo et al. (2016) determinou as propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial e integral dos agregados naturais por agregados reciclados. Neste trabalho, os autores propõem a avaliação da resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade estático em um concreto de referência com classe de resistência à compressão de 40 MPa. Como resultado, observou-se que a perda na resistência mecânica e no módulo de elasticidade foi pequena, permitindo ainda o seu uso como concreto estrutural, embora as normas brasileiras não façam essa recomendação.

Ogar (2017) testou a substituição completa dos agregados naturais por reciclados e observou que para idades de até 14 dias as amostras com agregado reciclado proporcionaram maior resistência à compressão para o concreto. A partir de tal idade, o concreto com agregados naturais teve maior resistência à compressão.

De acordo com a NBR 6118:2014, concreto de alta resistência pode ser encontrado quando sua resistência à compressão iguala ou supera 50 MPa. Pesquisas anteriores que objetivavam empregar RCDs em concretos com, pelo menos, tal resistência são escassas.

Assim, esse estudo realiza a substituição parcial dos agregados naturais por agregados reciclados (grãos e miúdos) em concretos de alta resistência, analisando as propriedades mecânicas do concreto e contribuindo, portanto, com a minimização do acúmulo de resíduos sólidos urbanos, além de reduzir a extração da matéria-prima dos leitos dos rios.

2. Programa experimental

O programa experimental descrito visa detalhar a avaliação da resistência à compressão e a tração de um concreto de alta resistência com substituição parcial dos seus agregados naturais por agregados reciclados grãos e miúdos.

A variável principal avaliada é a quantidade de agregado reciclado adicionada a cada traço de concreto e a segunda variável refere-se ao tamanho dos grãos. Primeiramente foram moldados corpos de prova variando somente a porcentagem de substituição dos agregados miúdos naturais pelos Agregados Miúdos Reciclados (AMR) e, no segundo momento, variou-se a porcentagem de substituição dos agregados naturais grãos e miúdos, pelos Agregados

Graúdos Reciclados (AGR) e AMR, respectivamente. Os traços foram nomeados de acordo com o teor de substituição dos agregados, conforme Tabela 1.

As misturas propostas testam 15% e 30% de substituição parcial somente do agregado miúdo e também analisam dosagens onde se substituem os mesmos teores, mas parte da substituição é no agregado miúdo e parte no agregado graúdo. Essa escolha se justifica pois há disponibilidade há baixo custo na região em estudo, tanto dos agregados graúdos quanto dos miúdos.

Tabela 1 - Misturas analisadas com respectivas porcentagens de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados de RCD

Mistura	%AMR	%AGR
REF	0	0
15 (AMR)	15	0
30 (AMR)	30	0
15 (AMR+AGR)	7,5	7,5
30 (AMR+AGR)	15	15

Fonte: O autor

Para cada traço foram moldados 10 corpos de prova. Destes, 5 são submetidos ao ensaio de resistência a compressão axial e 5 ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral, totalizando 50 corpos de prova.

2.1 Caracterização dos materiais

Para a produção dos concretos, foi usado Cimento Portal de alta resistência inicial (CP V - ARI) da marca Itambé. As especificações técnicas deste produto estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades químicas e físicas do cimento utilizado (CP V - ARI)

Propriedades químicas			Propriedades físicas			
Al ₂ O ₃	%	4.31	Tempo de pega	Inicial	h : min	03:13
SiO ₂	%	18.63		Final	h : min	04:00
Fe ₂ O ₃	%	2.98	Consistência normal		%	29.8
CaO	%	60.02		#200		%
MgO	%	4.02	#325		%	0.34
SO ₃	%	3.21	Resistência à compressão	1 dia	MPa	23.0
Perda ao fogo	%	3.34		3 dias	MPa	37.7
CaO livre	%	0.58		7 dias	MPa	45.2
Resíduo insolúvel	%	0.72		28 dias	MPa	54.9
Alcalinidade equivalente	%	0.71	Massa específica		g/cm ³	3.09

Fonte: Cia. de Cimento Itambé Relatório de Ensaios de Cimento - período: jul/17

Como agregado miúdo natural, foi utilizada areia média da região de Santa Maria e como agregado graúdo natural, duas diferentes granulometrias foram usadas: brita 0 e brita 1, ambas originadas da região de Passo Fundo.

Foram utilizados areia, brita 0 e entulho grosso reciclados de resíduos da construção civil. Os

entulhos que chegam na usina passam por um processo triagem, onde os materiais como plástico, ferro, madeira, etc., são separados, ficando apenas resíduos de Classe A, segundo a Resolução CONAMA nº 307. No final, este material é britado e separado, por uma peneira, em pilhas de areia, pedrisco e saibro grosso. Optou-se nesta pesquisa por utilizar os agregados como eles saem da usina (RCD misto), sem nenhum outro processo de tratamento, com o objetivo de representar o cenário real dos agregados reciclados de RCD em Passo Fundo.

Para a determinação da composição granulométrica dos agregados naturais e reciclados, tanto miúdos como graúdos, foi realizado o ensaio prescrito pela norma NBR NM 248:2003. A determinação da massa unitária dos agregados no estado compactado foi feita a partir do método prescrito pela norma NBR NM 45:2006. A determinação da massa específica dos agregados miúdos foi realizada a partir do ensaio prescrito na norma NBR 9776:1987, o qual determina a massa específica do agregado miúdo para concreto por meio do frasco Chapman. A determinação da massa específica dos agregados graúdos foi feita seguindo o método estabelecido na norma NBR NM 53:2009.

2.2 Produção dos concretos

Para o estudo de dosagem foi adotado o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) adaptado do método da ACI (American Concrete Institute). A mistura do concreto foi mecânica, constituída de uma betoneira da marca CSM, modelo CS150 e com capacidade de 150 litros. A introdução dos materiais na betoneira foi feita na seguinte ordem: água (50%); agregado graúdo (100%); cimento (100%); agregado miúdo (100%); e restante da água.

Para cada um dos traços dosados foram confeccionados 10 corpos de prova, sendo que 5 foram encaminhados para o ensaio de resistência a compressão axial e os outros 5 para o ensaio de resistência a tração por compressão diametral, ambos aos 28 dias. Foram utilizados moldes cilíndricos de aço com 100mm de diâmetro e 200mm de altura.

Para avaliar a consistência dos concretos dosados no estado fresco foi realizado, em cada um dos traços, o ensaio de abatimento do tronco de cone, também conhecido como *Slump Test*, normalizado pela NBR NM 67:1998. Como a absorção de água dos agregados reciclados interfere na relação a/c, optou-se por manter constante o valor da consistência, de forma a encontrar a melhor dosagem. Por isso, após todas as misturas, foi realizado o ensaio *Slump Test* para verificar se o abatimento atende ao limite estabelecido de 70 ± 10 mm, indicado para concreto plástico sem uso de aditivos.

2.3 Ensaios de resistência mecânica

Para avaliar a resistência a compressão dos concretos de referência e com agregados reciclados, foram realizados ensaios de resistência a compressão axial para cinco corpos de prova de cada traço dosado, aos 28 dias, em conformidade com o procedimento da norma NBR 5739:2007.

Para avaliar a resistência a tração dos concretos de referência e com agregados reciclados, foram realizados ensaios de resistência à tração por compressão diametral para cinco corpos de prova de cada traço dosado, aos 28 dias, em conformidade com o procedimento da norma NBR 7222:2011.

3 Resultados

3.1 Ensaios de caracterização dos agregados

Os gráficos das curvas granulométricas dos agregados miúdos e graúdos, bem como os limites estabelecidos pela norma NBR 7211:2009 estão apresentados nas Figuras 1, 2 e 3.

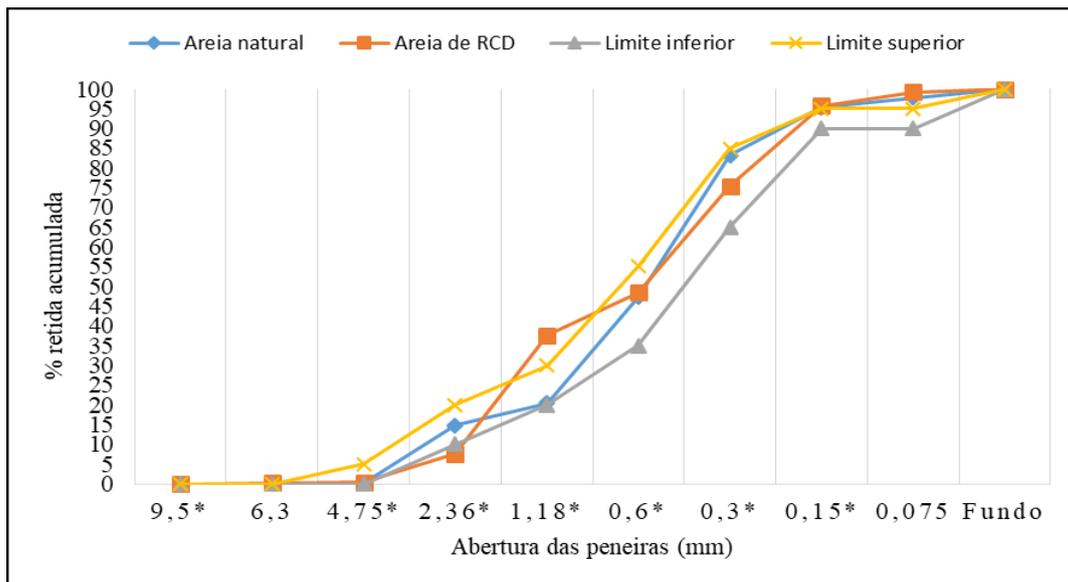


Figura 1 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos natural e de RCD e respectivos limites inferior e superior da areia média especificada pela NBR 7211:2009 (*peneiras da série normal)

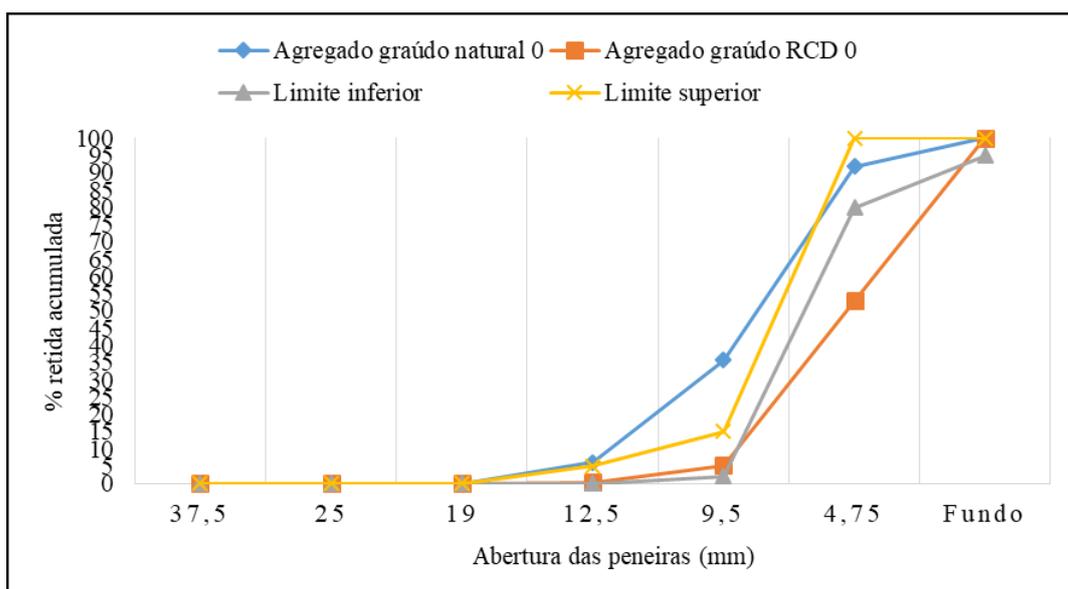


Figura 2 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos natural e de RCD e respectivos limites inferior e superior da brita 0 especificada pela NBR 7211:2009

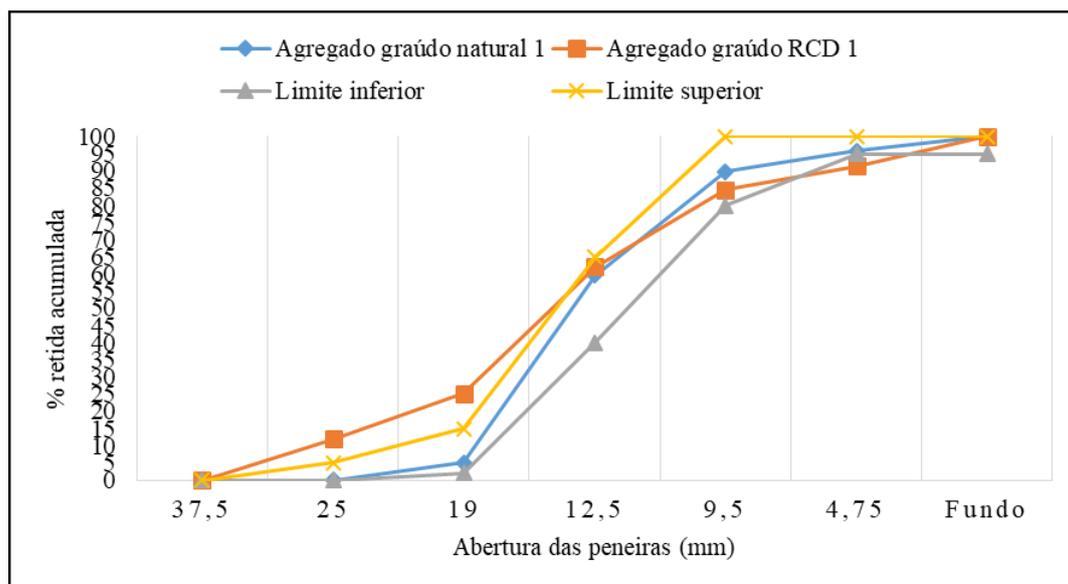


Figura 3 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos natural e de RCD e respectivos limites inferior e superior da brita 1 especificada pela NBR 7211:2009

A partir das curvas granulométricas, pode-se perceber que os agregados miúdos e graúdos possuem granulometria contínua, ou seja, não apresentaram deficiências ou excessos significativos de qualquer dimensão de partícula, característica favorável pois possibilita misturas mais trabalháveis (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A curva granulométrica da areia de RCD apresentou algumas porcentagens fora dos limites estabelecidos por norma, porém não foram valores significativos, permitindo classificá-la também como areia média. O agregado natural da Figura 3 atendeu os limites inferiores e superiores para a granulometria 1 (Brita 1) porém, o agregado reciclado não se enquadrou entre as faixas dessa granulometria, comportamento que também foi verificado na pesquisa de Leite (2001). Apesar disso, optou-se por não interferir na granulometria dos agregados, de forma a utilizar o material no mesmo estado em que foi fornecido.

Os resultados obtidos nos ensaios de massa específica e massa unitária para os agregados naturais e reciclados estão apresentados na Tabela 3.

Na Tabela 3 verifica-se que as massas específicas e unitárias dos agregados reciclados possuem valores inferiores aos valores dos agregados naturais. Esse comportamento pode ser justificado pela alta porosidade presente nos agregados de RCD.

Tabela 3 - Resultados de massa específica e massa unitária para os agregados naturais e reciclados

Fração granulométrica	Tipo de material	Massa específica (kg/dm ³)	Massa unitária (kg/dm ³)
Miúdo	Natural	2,632	1,556
	RCD	2,37	1,397
Agregado graúdo 0	Natural	2,728	1,412
	RCD	1,961	1,163
Agregado graúdo 1	Natural	2,47	1,412
	RCD	2,373	1,201

Fonte: O autor

3.2 Ensaios de abatimento de tronco de cone

Foram realizados ajustes na relação a/c em cada um dos traços, a fim de atender o abatimento em 70 ± 10 mm. Na Tabela 4 são apresentadas as quantidades corrigidas de materiais utilizadas em cada traço para a moldagem de 10 corpos de prova.

Tabela 4 - Consumos ajustados dos materiais para cada mistura

Mistura	Cimento	Areia natural	Quantidade de cada material (kg)				Água	
			Areia de RCD	Agregado graúdo natural 1	Agregado graúdo RCD 1	Agregado graúdo natural 0		Agregado graúdo RCD 0
REF	9,92	18,11	0	15,14	0	6,490	0	4,355
15 (AMR)	9,92	15,39	2,72	15,14	0	6,490	0	4,365
30 (AMR)	9,92	12,68	5,43	15,14	0	6,490	0	4,440
15 (AMR+AGR)	9,92	16,75	1,36	14,01	1,135	6,005	0,485	4,515
30 (AMR+AGR)	9,92	15,39	2,72	12,87	2,270	5,515	0,975	5,430

Fonte: O autor

Os traços 15 (AMR+AGR) e 30 (AMR+AGR) obtiveram fator a/c 3,67% e 24,68% maiores que o traço de referência, respectivamente. A adição de agregados graúdos na mistura exigiu um maior consumo de água para atender à trabalhabilidade requerida.

Entretanto, os traços com adição de agregado miúdo reciclado, apenas, não sofreram mudanças significativas. O fator a/c do traço 15 (AMR) foi semelhante ao traço de referência, e do traço 30 (AMR) foi 1,95% maior.

3.3 Ensaios de resistência à compressão axial

Os resultados de resistência média à compressão na idade de 28 dias dos traços em estudo estão apresentados na Tabela 5, assim como seus respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação.

Na Figura 4 é apresentado um gráfico que relaciona a resistência a compressão obtida com a porcentagem de substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados miúdos e miúdos e graúdos em conjunto.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

Mistura	Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
REF	79,35	2,19	2,8
15 (AMR)	57,59	7,47	13,0
30 (AMR)	48,73	4,99	10,2
15 (AMR+AGR)	51,69	6,29	12,2
30 (AMR+AGR)	46,93	4,50	9,6

Fonte: o autor

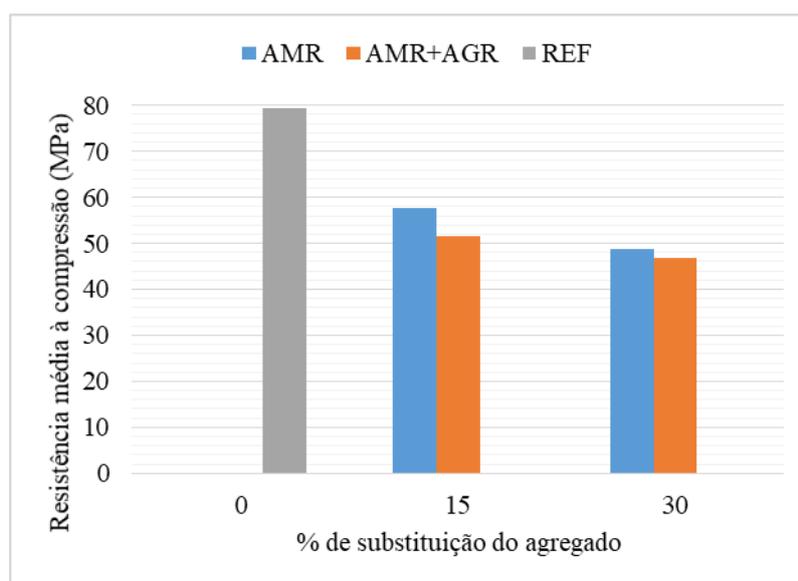


Figura 4 – Resistências à compressão em função do teor de substituição dos agregados

Depois de obtidos os valores médios de resistência à compressão para cada um dos traços, efetuou-se um teste estatístico que permite verificar se as amostras apresentaram resultados estatisticamente diferentes entre si. Este Teste de Análise de Variância é chamado de ANOVA e com ele foi possível afirmar ou negar a influência do tipo ou quantidade de agregado na resistência à compressão da mistura. Também foi realizada uma comparação entre médias para detectar onde estão as diferenças encontradas na ANOVA.

Na Tabela 6 (ANOVA), percebe-se que o Teste F de Fisher-Snedecor levou a probabilidade de ocorrência significativamente inferior a 5%, indicando que houve influência do tipo ou quantidade de agregado na resistência à compressão do concreto. Essa análise ANOVA levou a um Limite de Decisão (LD) igual a 7,14 MPa. Desse modo, diferenças entre médias superiores ao LD, apresentadas na Tabela 7, apontam diferenças estatisticamente significativas entre as comparações propostas. Quando a diferença entre médias for inferior ao LD, nada se pode afirmar a respeito.

Com base na ANOVA e na comparação entre médias é possível dizer que o traço de referência possui resistência diferente em relação a todos os traços com agregados reciclados. Permite-se assim, também a partir do exposto na Tabela 5, afirmar que a resistência à compressão do Traço REF é 37,79% maior que o 15 (AMR), 62,82% maior que o 30 (AMR), 53,51% maior que o 15 (AMR+AGR) e 69,08% maior que o 30 (AMR+AGR).

Entretanto, ao comparar às médias de resistência dos traços que possuem agregados reciclados entre si, apenas o traço 15 (AMR) possui diferença significativa com os traços 30 (AMR) e 30 (AMR+AGR), sendo 18,16% e 22,71% maior, respectivamente.

Nos resultados estatisticamente iguais, a presença do ruído (erro) não permite a conclusão, ou seja, não se pode afirmar que determinado traço é diferente de outro. Esse ruído é dado por diferenças nas condições de operação na compactação, cura e na retífica, por exemplo, além de temperatura e da umidade.

Nos casos onde houve influência do teor ou tipo de agregado, reduziu-se a resistência à compressão da mistura no estado endurecido pois houve acréscimo de água, necessária para manter o abatimento pré-estabelecido, em função de o agregado reciclado ser mais poroso em relação ao natural, absorvendo assim mais água. Esse fato aumentou a relação água/cimento, reduzindo a resistência à compressão e se assemelha ao encontrado por Araújo et al. (2016).

Tabela 6 - Tabela ANOVA para ensaios de compressão

Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F	Probabilidade	Influência
Dosagem	3489,6	4	872,4	30,8	0,0000016%	Há influência do tipo/teor de agregado na resistência à compressão do concreto
Erro (ruído)	595,3	21	28,3			
Total	4084,9	25				

Fonte: O autor

Na Tabela 7, SQ representa a soma quadrada dos resultados e dos desvios, GDL é o número de graus de liberdade das amostras, MQ é a média quadrada dos resultados e dos desvios e o Teste F representa a distribuição probabilística de Fisher-Snedecor.

Tabela 7 - Comparação entre médias para ensaios de compressão

Comparação	Diferença entre médias (MPa)	Situação
REF - 15 (AMR)	21,56	Diferentes
REF - 30 (AMR)	30,61	Diferentes
REF - 15 (AMR+AGR)	27,66	Diferentes
REF - 30 (AMR+AGR)	32,42	Diferentes
15 (AMR) - 30 (AMR)	9,05	Diferentes
15 (AMR) - 15 (AMR+AGR)	6,10	Sem constatação
15 (AMR) - 30 (AMR+AGR)	10,86	Diferentes
30 (AMR) - 15 (AMR+AGR)	2,96	Sem constatação
30 (AMR) - 30 (AMR+AGR)	1,80	Sem constatação
15 (AMR+AGR) - 30 (AMR+AGR)	4,76	Sem constatação

Fonte: O autor

3.3 Ensaios de resistência à tração por compressão diametral

Os resultados de resistência média à tração na idade de 28 dias das misturas em estudo estão apresentados na Tabela 8, assim como seus respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral

Mistura	Resistência média à tração aos 28 dias (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
REF	4,87	0,72	14,8
15 (AMR)	3,49	0,62	17,9
30 (AMR)	3,23	0,66	20,5
15 (AMR+AGR)	4,60	0,54	11,7
30 (AMR+AGR)	4,19	0,61	14,6

Fonte: o autor

Na Figura 5 é apresentado um gráfico que relaciona a resistência à tração obtida com a porcentagem de substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados miúdos e miúdos e graúdos em conjunto.

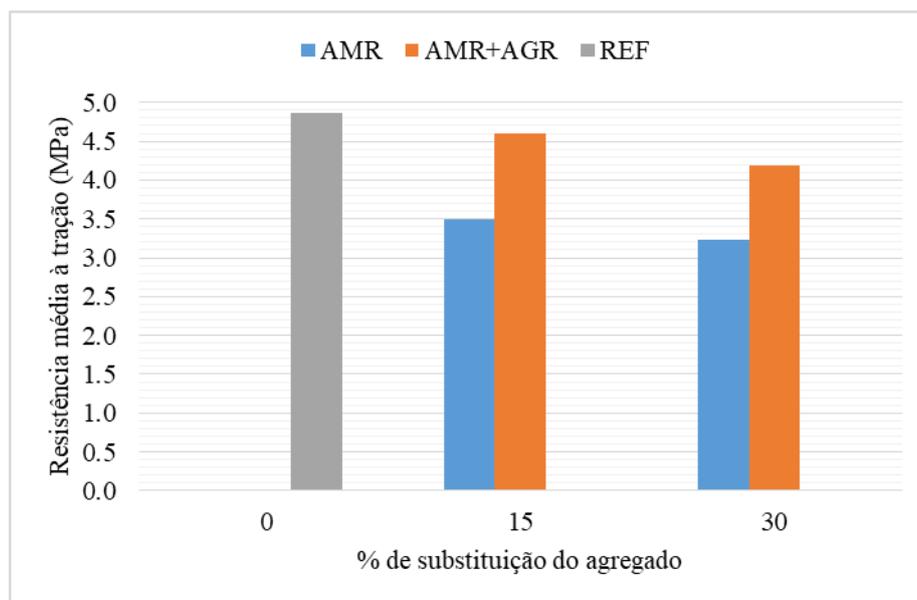


Figura 5 – Resistências à tração por compressão diametral em função do teor de substituição dos agregados

Assim como para os resultados de resistência à compressão, para que se pudessem fazer afirmações sólidas também para a avaliação da resistência à tração, foi realizada uma análise de variâncias (Tabela 9) e uma comparação entre médias (Tabela 10), que nesse caso apontou um LD igual a 0,83 MPa.

Com base na análise de variância pelo método ANOVA, é possível dizer que a resistência à tração da mistura de referência só é diferente quando comparada com a resistência dos traços 15 (AMR) e 30 (AMR), ambos que utilizam substituição apenas do agregado miúdo. Permite-se, seguindo os resultados apresentados na Tabela 8, afirmar que a resistência à tração da mistura de referência é 39,62% maior que o traço 15 (AMR) e 50,81% maior que o 30 (AMR).

A comparação da mistura 30 (AMR) com a mistura 15 (AMR+AGR) também apresentou diferença significativa de resistência à tração, permitindo afirmar que o traço 15 (AMR+AGR) obteve resistência 42,35% maior que o traço 30 (AMR). Nos resultados estatisticamente iguais, a presença do ruído (erro) não permite a conclusão, ou seja, não se pode afirmar que determinado traço é diferente de outro.

Tabela 9 - Tabela ANOVA para ensaios de tração por compressão diametral

Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F	Probabilidade	Influência
Dosagem	9,9	4	2,5	6,44	0,151%	Há influência do tipo/teor de agregado na resistência à tração do concreto
Erro (ruído)	8,1	21	0,4			
Total	18,0	25				

Fonte: O autor

Tabela 7 - Comparação entre médias para ensaios de tração por compressão diametral

Comparação	Diferença entre médias (MPa)	Situação
REF - 15 (AMR)	1,38	Diferentes
REF - 30 (AMR)	1,64	Diferentes
REF - 15 (AMR+AGR)	0,27	Sem constatação
REF - 30 (AMR+AGR)	0,68	Sem constatação
15 (AMR) - 30 (AMR)	0,26	Sem constatação
15 (AMR) - 15 (AMR+AGR)	1,11	Diferentes
15 (AMR) - 30 (AMR+AGR)	0,70	Sem constatação
30 (AMR) - 15 (AMR+AGR)	1,37	Diferentes
30 (AMR) - 30 (AMR+AGR)	0,96	Diferentes
15 (AMR+AGR) - 30 (AMR+AGR)	0,40	Sem constatação

Fonte: O autor

4 Conclusão

A substituição parcial dos agregados naturais, miúdos e graúdos, por agregados reciclados de RCD reduziu significativamente a resistência à compressão do concreto de alta resistência avaliado. Entretanto, o valor de resistência obtido nas misturas com a presença de agregados reciclados foi elevada, podendo em vários casos caracterizá-los como concreto de alta resistência. Nos casos onde tal afirmação não foi válida, a resistência à compressão ficou próxima dos 50 MPa, valor a partir do qual a NBR 6118:2014 classifica um concreto como de alta resistência.

No atual trabalho, optou-se por trabalhar com um abatimento pré-determinado. Desse modo, a quantidade de água foi variável até que se atingisse o abatimento desejado. Assim, observou-se que as reduções das resistências à compressão e à tração ao serem adicionados RCD ao traço do concreto de alta resistência podem ser justificadas pela alta porosidade dos agregados de RCD (pois havia por parte destes maior absorção da água de amassamento) e pela baixa resistência mecânica dos materiais que o compõem, como a cerâmica por exemplo.

Vale ressaltar que as conclusões apresentadas acima dizem respeito aos RCDs coletados na cidade de Passo Fundo-RS e a partir da metodologia empregada. É preciso que mais estudos sejam realizados a fim de melhorar e aprimorar as propriedades do concreto de alta resistência para fins estruturais contendo agregados reciclados.

Referências

ARAÚJO, D. L.; FÉLIX, L. P.; SILVA, L. C.; SANTOS, T. M. *Influência de agregados reciclados de resíduos de construção em propriedades mecânicas do concreto*. Revista Eletrônica Engenharia Civil. Vol. 11, n.1, p.16-34, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211. Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7222. Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9776. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248. Agregados - Determinação da*

composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 53. Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro, 2009.

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

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº307, de julho de 2002. Alterada pelas Resoluções nº348, de 2004, nº431, de 2011 e nº448, de 2002. Brasília, 2002. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em 29 de maio de 2019.

FÉLIX, E.; FELICIANO, T.; DEZEN, B. G. S.; OLIVEIRA, I. *Viabilidade técnica e econômica da produção de concreto com RCD*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 14, Belo Horizonte, 2016. Anais... Belo Horizonte: IBRACON, 2016.

LEITE, M. B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

OGAR, I. F. *The effects of recycled aggregates on compressive strength of concrete*. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). Vol. 4, p.250-258, 2017.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. *Manejo e gestão de resíduos da construção civil*. Manual de orientação. Vol. 1, 198p. Brasília, 2005.

TAM, V. W. Y.; SOOMRO, M.; EVANGELISTA, A. C. J. *A review of recycled aggregate in concrete applications (2000-2017)*. Construction and Building Materials. Vol. 172, p.272-292, 2018.

VIEIRA, G. L. *Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2003.

YEHIA, S.; HELAL, K.; ABUSHARKH, A.; ZAHER, A.; ISTAITIYEH, H. *Strength and durability evaluation of recycled aggregate concrete*. International Journal of Concrete Structures and Materials. Vol. 9, n.2, p.219-239, 2015.