ESTUDO DE DOSAGEM DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Alves, Brenda (1); Vaz, Camila (2); Moraes, Elizete (3); Bernardo, Karen (4); Souza, Grazielle (5)

(1) PPGINDE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. – brendamaiara.oliveira@gmail.com; (2) Universidade Federal do Pará – camila.opcomputador@gmail.com; (3) Universidade Federal do Pará – eli7moraes@gmail.com; (4) PPGINDE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. – engkarenbernardo@gmail.com; (5) Universidade Federal do Pará – grazielle_tigre@hotmail.com

RESUMO

O trabalho tem como objetivo realizar um estudo de dosagem de concreto autoadensável (CAA) utilizando substituição parcial de agregados naturais por agregados reciclados, oriundos de resíduos de construção e demolição (RCD). O programa experimental consistiu na produção de CAA com três teores de substituição (10%, 20%, 30%) do agregado miúdo natural (AMN) por Agregado miúdo reciclado (AMR), caracterizando-o segundo a NBR 15823-1. Foi utilizado um cimento CP-II-E e a sílica ativa como adição mineral. O agregado miúdo natural utilizado foi a areia, como agregado graúdo utilizou-se a brita, além de aditivo superplastificante. A metodologia consistiu em uma adaptação do método de Gomes para concretos autoadensáveis. O CAA no estado fresco foi avaliado através dos ensaios: de espalhamento, tempo de escoamento no Funil V e a Caixa L. Apesar de reduzir as propriedades no estado fresco, foi possível concluir que a utilização de teores de até 30% de agregados miúdos reciclados provenientes dos resíduos de construção e demolição, na produção de CAA é tecnicamente viável, desde que sejam consideradas as particularidades e limitações do material reciclado.

Palavras-chave: Concreto Autoadensável, Agregado reciclado de concreto, Resíduos da construção civil.

STUDY OF MIX-DESING OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

ABSTRACT

The objective of this work was to perform a self-compacting concrete (SCC) dosage study using partial replacement of natural aggregates by recycled aggregates obtained from construction and demolition waste (CDW).The experimental program consisted in the production of CAA with three percentages of substitution (10%, 20%, 30%) of the natural fine aggregate (NFA) per recycled fine aggregate (RFA), characterizing it according to NBR 15823-1. Was used cement CP-II-E and silica fume as supplementary material. The natural fine aggregate used was sand. The coarse aggregate was the crushed gravel, and a superplasticizer additive. The applied methodology included an adaptation of the Gomes method for self-compacting concrete. The SCC in the fresh state was evaluated through the tests: slump flow; flow time at Funnel V and Box-L. Although reducing the properties in the fresh state, it was possible to conclude that the use of percentages of up to 30% of recycled fine aggregate from construction and demolition wastes in the production of SCC is technically feasible, considering the particularities and limitations of the recycled material.

Key-words: Self-compacting concrete; Recycled concrete aggregate; Construction and demolition waste.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela agilidade, facilidade de mão-de-obra, diminuição de custos, sustentabilidade e praticidade na construção civil, tem demandado estudos de novos materiais[1]. Com essa tendência, o concreto autoadensável (CAA) apresenta-se como um material com características especiais, como elevada fluidez, boa resistência à segregação, capacidade de se mover por ação da gravidade e preencher, sem necessidade de intervenção, os espaços dentro das fôrmas [2].

A indústria da construção civil se caracteriza como uma atividade que apresenta grande fontes geradoras de resíduos, que muitas vezes não possuem uma destinação adequada[3]. Por conseguinte, tanto o consumo de recursos naturais como a produção de resíduos pela indústria da construção aumentaram significativamente nos últimos anos. O atual processo de "construção-demolição" impõe uma pressão significativa sobre os recursos naturais, com ênfase especial nos agregados naturais (AN) e resulta em grandes quantidades de resíduos de construção e demolição (RCD), ambos fatos com um impacto muito negativo sobre o meio ambiente.

Considera-se RCD todo e qualquer resíduo proveniente de atividades de construção civil. Os RCD incluem diferentes materiais, tais como plásticos, isolantes, papel, materiais betuminosos, madeiras, metais, concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, gesso, solo e outros[4]. Devido à atual crise econômica e ambiental, as demandas por um desenvolvimento mais sustentável na indústria da construção exigem uma abordagem diferente.

O reaproveitamento de resíduos de construção e demolição é um dos objetivos mais importantes da indústria da construção. A conversão de matérias-primas, materiais usados ou resíduos proporciona economias de energia significativas, reduzindo o número de processos industriais na produção de materiais[5].

Neste contexto, uma solução, que a cada dia ganha força é o uso de agregados reciclados a partir de resíduos de construção e demolição (RCD) em substituição aos agregados naturais (AN), na produção de novos produtos de construção, sendo este considerado um dos métodos mais eficientes para agregar valor aos materiais reciclados[6,3].

Assim, a sua utilização para a produção de um CAA pode ser uma abordagem alternativa para a destinação de RCD, contribuindo no sentido de trazer para o meio técnico uma possibilidade para minimizar a geração de resíduos nos canteiros de obra, reduzindo o consumo e a extração de

matérias primas, e atuando segundo os preceitos da sustentabilidade na construção civil. No entanto, para o CAA apresentar características reológicas adequadas, a determinação dos materiais e o método de dosagem, precisam ser criteriosos[7], uma vez que a qualidade dos constituintes determinam a qualidade final do produto final[8].

A substituição dos agregados naturais por agregados reciclados influencia as propriedades dos compósitos cimentícios tanto no estado fresco quanto no endurecido[9]. No que concerne as propriedades reológicas os autores[10] observaram maior espalhamento, menor tempo de escoamento no funil V e maior habilidade passante em concretos autoadensáveis (CAA's) quando empregaram agregados reciclados. Os autores ainda destacaram que o incremento na fluidez e na habilidade passante foram mais pronunciados em teores de substituição a partir de 50%, no caso da fração miúda, e até 50%, para a graúda.

Os autores[11] também apresentaram um trabalho das propriedades de CAA feitos com agregados graúdo reciclado (AGR) e uma mistura mineral obtida de um resíduo de alvenaria (RA), na qual foram testados cinco tipos de misturas de CAA onde o agregado graúdo virgem foi substituído pelo agregado reciclado em proporções de 0 a 100% em volume. As propriedades reológicas do CAA em estado fresco foram determinadas por meio de testes de fluxo de queda, testes de V-funil e L-box. Os resultados mostraram adequada trabalhabilidade e resistência à segregação, capacidade de passagem e capacidade de preenchimento.

No trabalho dos autores[12] procurou-se verificar a influência exercida pela substituição parcial dos agregados naturais por agregados reciclados de RCD nas propriedades reológicas de argamassas e concretos autoadensáveis e também nas propriedades mecânicas destes concretos. Os autores concluíram que os agregados reciclados comprometeram a fluidez das argamassas e dos concretos estudados, o que pode estar relacionado ao fato de apresentarem maior teor de materiais pulverulentos e maior absorção de água, quando comparados aos agregados naturais, mas que pôde ser corrigida com o incremento no teor de aditivo superplastificante nas misturas. Por outro lado, não foi verificada redução significativa nas propriedades mecânicas dos concretos produzidos com 20% de agregados graúdos ou miúdos reciclados.

Os autores[13] estudaram CAA com agregado reciclado (AR) e cinzas de incineração de resíduos sólidos urbanos (CIRSU) como substitutos de agregado natural. O AR utilizada apresentou a seguinte composição média: 70% de concreto, 27% de alvenaria, 2% de betume e 1% de outros materiais não identificados. Os autores descobriram que o fluxo de slump é semelhante nas duas

misturas: a mistura apenas com agregado miúdo natural (AMN) e agregado graúdo reciclado (AGR) (concreto autoadensável com agregado reciclado - CAAAR) e aquela com CIRSU e AGR (concreto autoadensável com agregado graúdo reciclado - CAAAGR), respectivamente 750 mm e 780 mm. Assim, os autores concluíram que o AMN e a CIRSU contribuem de forma idêntica para a fluidez do CAA. Quanto ao tempo de fluxo, obtiveram resultados idênticos com AMN (CAAAR) e CIRSU (CAAAGR), 3 s.

Os pesquisadores[14] estudaram CAA com incorporação de agregado graúdo natural (AGN), agregado graúdo reciclado (AGR) e agregado de resíduos de mármore (ARM). As séries de controle foram produzidas com agregado de calcário moído (ACM) em diferentes relações água/aglomerante. De acordo com os resultados obtidos, a trabalhabilidade de CAA, como capacidade de fluxo, resistência ao bloqueio e resistência à segregação é aumentada pelo uso de pedaços de ARM em vez de ACM.

O estudo[15] investigou a utilização do agregado reciclado de concreto (ARC) em concreto novo. O ARC foi usado como substitutos parciais e totais do agregado natural de concreto (ANC) para produzir CAA. Diferentes misturas de CAA foram produzidas com ARC substituindo 0%, 30%, 50%, 70% e 100% de ANC por peso. Os resultados do teste revelaram que a capacidade de preenchimento e capacidade de passagem de CAA melhorou para 30% e 50% de RCA. As misturas de CAA com 30% e 50% de ARC também possuem resistência adequada à segregação. Sugeriu-se que o ARC possa ser usado para produzir CAA, substituindo até 50% sem afetar as propriedades frescas do concreto.

Considerando as informações apresentadas, o presente trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo de dosagem para concreto autoadensável (CAA) através da substituição parcial de agregado miúdo natural por agregados reciclados oriundos de RCD. Já como objetivos específicos, busca testar composições do RCD no traço de concreto, a fim de se obter o melhor desempenho, analisar o comportamento dos agregados reciclados de RCD em estado fresco e analisar a performance quanto à absorção de água do concreto.

MATERIAIS E MÉTODOS

1.1 Materiais

O cimento utilizado na dosagem foi o CPII-E-32, e como adição mineral, optou-se pelo uso da sílica ativa proveniente de um município próximo. A sílica trata-se de um material pulverulento decorrente do processo de fabricação do silício metálico ou ferro silício. Já como agregado miúdo utilizou-se areia quartzosa e o agregado miúdo reciclado proveniente de RCD, o qual foi triturado a partir com um moinho de rolo e separado por sua granulometria. Como agregado graúdo natural, foi selecionado uma brita com diâmetro máximo de 9,5mm.

A fim de conhecer as características físicas dos agregados (naturais e reciclados), foram realizados ensaios de caracterização baseado nas normas regulamentadoras: NBR NM 248 (2003)[16], NBR NM 52 (2009)[17], NBR NM 53 (2009)[18], NBR NM 45 (2006)[19] e NBR NM 30 (2001)[20]. Os resultados do ensaio de granulometria dos agregados podem ser observados na Tabela 1, que ainda mostra os resultados do diâmetro máximo e módulo de finura.

Tabela 1 – Composição granulométrica.

PENEIRA	RCD		AREIA		BRITA	
mm	% Média	% Média Retida Acumulada	% Média	% Média Retida Acumulada	% Média	% Média Retida Acumulada
9,5	0	0	0	0	12	12
4,75	1	1	0	0	15	27
2,36	15	15	0	0	36	63
1,18	17	32	2	2	18	81
0,6	18	50	27	29	8	89
0,3	28	78	67	96	6	95
0,15	14	92	4	100	3	98
0,075	6	98	0	100	-	-
Fundo	12	100	0	100	2	100
Total	100	-	100	-	100	-
Diâmetro Máximo:		4,75		1,2		9,5
Módulo de finura:		3,66		2,28		4,52

Dentro dos resultados apresentados na tabela 1 destaca-se que o AMR apresentou um módulo de finura superior ao agregado miúdo natural, essa diferença ocasiona uma redução da

trabalhabilidade (em misturas com mesma relação a/c), o que no caso do agregado reciclado já apresenta uma redução por conta da elevada absorção da argamassa antiga aderida aos grãos deste agregado[21].

Portanto, de forma compreender o efeito ocasionado pela inclusão de AMR em argamassas e concretos é necessário realizar um ensaio de absorção no material, tornando possível comensurar a influência dessa argamassa aderida aos grãos para o aumento da absorção do agregado reciclado Para este estudo optou-se pelo método proposto pelos autores[22], que consiste em montar um aparato para a pesagem do material ao ser submerso, conforme Figura 1.

Figura 1. Ensaio de absorção do RCD.



Em seguida, anota-se o ganho de passa da amostra durante um período de 24 horas. Após a realização desse procedimento, é possível calcular a absorção do material reciclado e o ganho de massa em razão do tempo. Os resultados de massa específica, massa unitária e absorção dos agregados (miúdo e graúdos), encontram-se dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios para o esqueleto granular.

ENSAIOS	NORMA	AGREGADOS	RESULTADOS
Massa especifica	NBR NM 52 (2009)	Areia	2,663 g/cm³
		RCD	2,692 g/cm³
	NBR NM 53 (2009)	Brita	2,71 g/cm³
Massa Unitária	NBR NM 45 (2006)	Areia	1549,739 kg/m³
		RCD	1872,235Kg/ m³
		Brita	1380,61 Kg/ m³
Absorção	NBR NM 52 (2009)	Areia	2,66%
	LEITE et al. (2011)	RCD	5,35%
	NBR NM 53 (2009)	Brita	1,1%

Segundo os valores apresentados na tabela 2, pode-se constatar que a massa especifica do agregado reciclado se enquadra acima do intervalo encontrado em algumas literaturas que vai de

2,10 g/cm³ à 2,60 g/cm³ [23, 24, 25, 26]. A absorção do AMR, como evidenciado pelos resultados, é bem superior aos valores dos agregados naturais, corroborando com a literatura consultada.

Para garantir a trabalhabilidade dos concretos e das argamassas produzidas no estudo, foi utilizado um aditivo superplastificante à base de policarboxilato. Por fim, utilizou-se água potável proveniente da rede de distribuição da estação de tratamento de água. O tópico seguinte apresentará a metodologia utilizada para a produção do CAA com agregado proveniente de RCD.

1.2 Métodos

Nesta pesquisa foi utilizado o método de Gomes[9], que fundamenta sua análise do traço através da otimização separada de duas fases: Pasta e Esqueleto granular. No entanto, com o objetivo de inferir sobre a influência da substituição do AMR no espalhamento das misturas, os autores optaram por realizar um estudo em argamassas, ao invés dos estudos em pasta como sugerido pelo método de Gomes[9]. Esse procedimento seguiu a metodologia demonstrada por [27] e [21], que apresentaram o estudo da argamassa como fase complementar ao método.

Após a caracterização dos materiais, foi realizado o estudo das argamassas no estado fresco, segundo o demonstrado por [27]. Desta maneira, fixou-se uma relação a/c (0,47) e também uma relação percentual de sílica (10% Sp/c), testando diferentes percentuais de aditivos, com a finalidade de se obter o ponto de saturação do superplastificante. A tabela 3 apresenta os traços de argamassa testados.

Tabela 3 – Traços das argamassas produzidas.

TRAÇO	A/c	f/c	sp/c (%)	Cimento (g)	RCD (g)	Areia (g)	Sílica (g)	Aditivo (g)	Água (ml)
REF – AR (0,8 % SP)	0,47	10%	0,8%	1100	0	2200	110	8,8	511,5
REF – AR (1,0 % SP)			1,0%		0	2200		11,0	510,2
RCD – 10% (0,8 % SP)			0,8%		220	1980		8,8	511,5
RCD – 10% (1,0 % SP)			1,0%		220	1980		11,0	510,2
RCD – 20% (0,8 % SP)			0,8%		440	1760		8,8	511,5
RCD – 20% (1,0 % SP)			1,0%		440	1760		11,0	510,2
RCD – 30% (0,8 % SP)			0,8%		660	1540		8,8	511,5
RCD – 30% (1,0 % SP)			1,0%		660	1540		11,0	510,2

Os ensaios realizados na argamassa no estado fresco avaliam o espalhamento e o tempo de fluxo das argamassas. A avaliação do espalhamento é realizada preenchendo um tronco de cone com argamassa, depois medindo o espalhamento da amostra sob uma base nivelada.

A finalidade desse ensaio é verificar a fluidez da mistura, medindo os diâmetros de espalhamento, e o parâmetro adotado segue os valores da [28] de 240 a 260 para argamassas autoadensáveis. Durante os primeiros testes, observou-se que as argamassas com teores de aditivo inferior a 0,8% de Sp/c não apresentaram valores próximos aos estabelecidos, por isso o segundo ensaio foi realizado apenas com dois teores de superplastificante (0,8% e 1,0%).

O segundo ensaio realizado é o Cone de Marsh, que consiste de um cone oco de metal invertido, com uma abertura no topo e outra na parte inferior, com um bocal removível de 12 mm, adequado para argamassa. No interior do cone é colocado um volume de argamassa de 1 litro, em seguida é medido o tempo gasto para a saída de um volume de 500 ml.

O ensaio de determinação do esqueleto granular é utilizado para a determinação da maior massa unitária e do menor índice de vazios considerando as relações entre agregado graúdo/agregado miúdo. Esse procedimento é descrito por[29]. Inicialmente, os agregados foram misturados no interior de uma bombona, partindo de uma massa de 20 kg de agregado graúdo e 0 kg de agregado miúdo, fazendo variar a relação entre elas.

Para o cálculo da dosagem através do método de Gomes[9] é necessário determinar um volume de pasta para o cálculo do consumo de cimento de cada traço. Segundo os estudos de [30], utilizou-se um volume de 40% para todos os traços, pois o teor apresentou resultado satisfatório em utilizações com agregados miúdos reciclados de concreto. A Tabela 4 apresenta os traços calculados.

Tabela 4. Traços para a produção dos concretos.

TRAÇO	PEDRISCO (kg)	RESÍDUO (kg)	AREIA (kg)	CIMENTO (kg)	SÍLICA (kg)	ÁGUA (kg)	Sp/c (%)
0% RCD (kg)	19,35	-	13,0	9,49	0,68	4,4	0,8
10 % RCD (kg)	19,35	1,29	11,72	9,49	0,68	4,48	1,0
20% RCD (kg)	19,35	2,58	10,41	9,49	0,68	4,52	1,0
30% RCD (kg)	19,35	3,87	9,11	9,49	0,68	4,56	1,0

O concreto foi submetido a diversos ensaios no estado fresco, no sentido de avaliar suas características de adensamento, habilidade passante e resistência a segregação. Para analisar a

fluidez foram utilizados os ensaios de Espalhamento e Funil V e para a análise da capacidade de atravessar armaduras e resistência à segregação foi usada a Caixa L. Na Tabela 5, estão apresentados os parâmetros estabelecidos para o atendimento dos tais critérios citados.

Tabela 5. Faixa dos parâmetros que asseguram o autoadensamento dos agregados.

PROPRIEDADES	ENSAIOS	PARÂMETROS	FAIXA IDEAL	
			Gomes et al. (2003)	NBR 15823-1 (2017)
Capacidade de preenchimento	Slump-flow	Extensão final do fluxo	60 a 75 cm	550 a 850
		T_{50}	5 ± 2 s.	≤ 2
	Funil V	Tempo total de fluxo	10 ± 3 s	> 2
Capacidade de Passagem	Caixa L	T_{L20}	1 ± 0,5 s.	< 9
		T_{L40}	1,5s. a 3s.	9 a 25
		RB = H2 / H1	= 80	≥ 0,80

O ensaio de espalhamento é realizado segundo a NBR 15823-2[31], e consistem em preencher o cones de Abrams sem compactar, em seguida levantá-lo lentamente, deixando o concreto se estender em cima de uma base nivelada e limpa. É calculada uma média de duas medidas perpendiculares das amostras ensaiadas.

Os ensaios do Funil V, realizado segundo a NBR 15823-5[32], consiste em medir os tempos que as amostras de concreto levam para fluir totalmente através do orifício inferior do funil. Para estabelecer a habilidade passante é utilizado o ensaio com a Caixa L, segundo a NBR 15823-4[33], que consiste em preencher o cômodo vertical da caixa com a amostra de concreto de aproximadamente 12 litros, e após a abertura de uma comporta são medidos os parâmetros TL20, TL40 e H2/H1, que são respectivamente, o tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 20 cm, 40 cm e a relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa.

Para atestar se o material produzido se comportava como um CAA, os autores utilizaram ambos parâmetros [34; 9], portanto considerando a mistura autoadensável apenas na ocasião do concreto adquirir resultados que se enquadravam nos valores de ambos.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Estudo da argamassa

Como descrito na metodologia, no estudo foram realizados ensaios com argamassas alterando o teor de substituição de AMN por AMR. Os resultados dos ensaios realizados com as argamassas produzidas podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Espalhamento e tempo de fluxo das argamassas.

Traço	Espalhamento (mm)	Tempo de fluxo (s)	Análise Visual	
			Exsudação	Borda Uniformes
REF – AR (0,8 % SP)	254	58	Não	Sim
REF – AR (1,0 % SP)	281	47	Sim	Sim
RCD – 10% (0,8 % SP)	235	135	Não	Sim
RCD – 10% (1,0 % SP)	243	111	Não	Sim
RCD – 20% (0,8 % SP)	218	*	Não	Sim
RCD – 20% (1,0 % SP)	242	148	Não	Sim
RCD – 30% (0,8 % SP)	165	*	Não	Sim
RCD – 30% (1,0 % SP)	168	*	Não	Sim

* Não apresentou resultado

Analisando as argamassas produzidas, pode-se constatar que a fluidez (medida pelo ensaio de espalhamento) sofreu uma redução de 67% com teores de substituição de até 30% e 1% de SP. O parâmetro adotado para a validação da mistura foi o descrito pela[28], com espalhamento entre 240 a 260mm. Diante disso, para dar continuidade à próxima fase na produção do CAA, para o concreto de referência foi adotado um teor de 0,8% de superplastificante, uma vez que através dos resultados obtidos da Tabela 5, observa-se que foi o teor que atendeu ao parâmetro de espalhamento da [28], enquanto que o teor de 1,0% ultrapassou o limite de 260mm. Para os demais traços com RCD o teor de 1,0% de superplastificante foi o único que atendeu ao requisito de espalhamento, pois os traços com 0,8% apresentaram espalhamento abaixo do mínimo.

O procedimento de pré-molhagem do AMR (Taxa de compensação de 80% da absorção) adotado, o qual teve como objetivo a saturação parcial do agregado reciclado de forma a reduzir o consumo da água de amassamento pelo AMR, não conseguiu contrabalancear a elevada perda de trabalhabilidade apresentada.

O tempo de fluxo, medido pelo ensaio do cone de Marsh, dos teores de: 20% com 0,8% de SP, 30% com 0,8% de SP e 30% com 1,0% de SP, não obtiveram resultados. Portanto, não foi possível realizar o estudo do ponto de saturação do aditivo através do ensaio do tempo de fluxo, utilizando-se o espalhamento para a sua determinação.

3.2 Esqueleto granular

De acordo com os resultados obtidos através do ensaio de massa unitária, a melhor composição para o esqueleto granular do CAA foi a relação areia/Brita de 0,67. Considerando que 60% dos agregados devem ser constituídos por agregado graúdo a e 40% por agregado miúdo. Esta combinação foi selecionada apresentou o menor teor de vazios de 31%.

3.3 Concreto autoadensável

De forma a avaliar as propriedades no estado fresco dos concretos produzidos, foram realizados os ensaios de autoadensabilidade descritos na metodologia. Os resultados das amostras ensaiadas estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7. Ensaios de autoadensabilidade.

Traço	REF – AR (0,8 %SP)	RCD – 10% (1,0 % SP)	RCD – 20% (1,0 % SP)	RCD – 30% (1,0 % SP)	NBR 15823 - 1 2017	Gomes et al. (2009)
Espalhamento (mm)	750	718	715	715	550 a 850	600 a 800
T_{50} (s)	3,52	3,84	4,18	4,28	≤ 2 > 2	2 a 7
Tempo de Fluxo (s)	4	6	8	9	< 9 9 a 25	6 a 15
H2/H1	0,96	0,92	0,86	0,83	≥ 0,80	≥ 0,80

Analisando os resultados dos ensaios de autoadensabilidade dos traços produzidos foi possível constatar que, a fluidez (propriedade analisada através do ensaio de espalhamento) foi a propriedade que mais apresentou redução durante o estudo em argamassas e o mesmo não foi evidenciado de forma semelhante nos traços de CAA com RCD. A redução do espalhamento do traço de RCD, com até 30% de substituição, foi de 5% comparado ao traço de referência. Todos os teores de espalhamento encontraram-se dentro dos parâmetros propostos pela [34], e por [9].

De acordo com os resultados do tempo de fluxo, no ensaio de espalhamento (T50) e no funil-V, houve um aumento no tempo de escoamento do material, demonstrando que o AMR, por deixar a mistura menos trabalhável, também impactou de maneira negativa na fluidez do CAA. No entanto, como demonstrado pelos resultados apresentados na tabela Tabela 6, o tempo de fluxo se manteve dentro dos parâmetros estabelecidos.

O Ensaio na caixa-L, apresenta a análise de duas propriedades, o habilidade passante e capacidade de preenchimento, mostrando-se um dos ensaios mais completos para a análise da autoadensabilidade do CAA. Todos os traços apresentaram índices acima dos parâmetros propostos pela [34], e por [9]. A análise visual das amostras não demonstrou problemas com exsudação e segregação para os teores de substituição de até 30% de RCD.

Os autores [23] indicaram o ensaio da caixa-L como sendo o procedimento experimental mais comum para avaliar a habilidade passante, e ao avaliarem a reologia dos traços de concreto autoadensável com agregado miúdo reciclado de concreto. Segundo [35], este ensaio permite a verificação visual da capacidade de preenchimento dos espaços e autonivelamento do CAA e afirma que se o CAA for aprovado neste ensaio, provavelmente irá obter bons resultados nos demais ensaios para a verificação da habilidade de passar por obstáculo, a exemplo do Anel-J e da Caixa em U.

Relacionando os resultados apresentados pelos ensaios de autoadensabilidade a tendência que se observou foi uma redução da viscosidade plástica, habilidade passante e aumento da segregação, os três parâmetros que determinam a eficiência do concreto autoadensável. No entanto, os resultados se mostraram dentro dos parâmetros normatizados.

4 CONCLUSÃO

Através dos resultados desse estudo de dosagem, pode-se concluir que todos os traços de concreto autoadensável apresentaram valores dentro do estabelecido proposto por [9] e [34]. Portanto, utilizando uma metodologia modificada, foi possível a produção de um CAA com AMR que estivesse dentro dos parâmetros estabelecidos.

Sobre avaliar o efeito da substituição do agregado miúdo natural por AMR na autoadensabilidade do CAA, todos os parâmetros que caracterizam um CAA sofreram redução em função do aumento do teor de AMR. Mas a metodologia tornou possível a produção de concretos autoadensáveis

utilizando teores de até 30% de substituição, com o mínimo de ajustes necessários, enquadrando-os nos parâmetros estabelecidos pela [34] e por [9].

Conclui-se, portanto, que as adaptações realizadas no método de Gomes[9], utiliza como base o estudo de duas fases distintas (argamassa e esqueleto granular), provaram-se satisfatórias na produção de CAA com agregado miúdo reciclado de RCD, com o mínimo de ajustes necessários. Portanto, o presente trabalho demonstrou que, de acordo com os ensaios de autoadensabilidade, é possível produzir concreto com propriedades autoadensáveis, utilizando o resíduo de construção e demolição (RCD), como agregado miúdo.

5. REFERÊNCIAS

1. MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante.** 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

2. REPETTE, W. L. **Concreto de última geração: presente e futuro. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**. Edição G. C. Isaia. São Paulo: Ibracon, 2005. V2, pp. 1509-1550.

3. SOUZA, André L. V; SCHWANTES, Nicole; SOUZA, Isabela C.; CAVALHEIRO, Caroline D.; PORTO, Maria F.; FONSECA, Matheus S.; TORALLES, Berenice M. Concreto AutoAdensável com Agregados Reciclados de Concreto (ARC). ENTAC2016 - São Paulo, Brasil, 21, 22 e 23 de setembro de 2016.

4. SILVA, VINÍCIUS A. DA; FERNANDES, ANDRÉ L. T. **Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG**. Soc. & Nat., Uberlândia, ano 24 n. 2, 333-344, mai/ago. 2012

5. ISMAIL, SALLEHAN; RAMLI, MAHYUDDIN. **Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications**. Construction and Building Materials. 44. 464–476. 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.014. 2013.

6. BRASILEIRO, L. L. **Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural do Concreto Asfáltico.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

7. FREITAS, E. R. F.; BORJA, E. V. D.; ANJOS, M. A. S. D.; PEREIRA, A. D. C.; VIANA, J. S. **Estudo das adições e aditivos minerais nas propriedades de argamassas autonivelantes**. Anais do V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (CONNEPI). Natal, 2010.

8. TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

9. GOMES, PAULO CESAR CORREIA; GETTU, RAVINDRA; AGULLÓ E JONATHAS JUDÁ LIMA TENÓRIO. **Concreto Auto-Adensável: Um aliado ao desenvolvimento sustentável do concreto**. 45º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2003.

10. GÜNEYISI, E., GESOGLU, M., ALGIN, Z., et al. **Rheological and fresh properties of selfcompacting concretes containing coarse and fine recycled concrete aggregates.** Construction and Building Materials, v. 113, pp. 622-630, 2016.

11. SILVA, Y. F.; ROBAYO, R.A.; MATTEY, P.E., et al. **Properties of self-compacting concrete on fresh and hardened with residue of ma-sonry and recycled concrete.** Construction and Building Materials, v. 124, pp. 639-644, 2016.

12. CAMPOS. R. S.; BARBOSA, M. P.; PIMENTEL, L. L.; MACIEL, G. D. F. **Influência dos agregados reciclados nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto autoadensável.** Matéria (Rio J.) v.23 n.1 Rio de Janeiro, 2018.

13. CORINALDESI, V.; MORICONI, G. **Concreto autoadensável:** Uma grande oportunidade para reciclagem de materiais. In: Conferência Internacional RILEM sobre o Uso de Materiais Reciclados em Edificações e Estruturas, 2004, 10 p. 2004.

14. UYGUNOĞLU, T.; TOPÇU, İ.B; ÇELIK, AG. **Uso de resíduos de mármore e agregados reciclados em concreto auto-adensável para a sustentabilidade ambiental.** Jornal de Produção Mais Limpa. v.84. pp. 691 – 700. 2014.

15. SAFIUDDIN, M.; SALAM, M. A.; JUMAAT, M.Z. **Effects of recycled concrete aggregate on the fresh properties of self-consolidating concrete.** Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 11. pp. 1023-1041. 2011.

16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. 2009.

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2009.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.

20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 30:** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro. 2001.

21. LISBÔA, E.M. **Obtenção do concreto autoadensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004, 121 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

22. LEITE, M. B. et al. **Proposta de Adaptação do Procedimento Proposto Por Leite (2011) Para Determinação da Absorção de Agregados Reciclados de Resíduo de Construção Demolição.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS, 7. Fortaleza, 2011. Anais... Fortaleza, 2011.

23. CARRO-LÓPEZ, D., GONZÁLEZ-FONTEBOA, B., DE BRITO, J., MARTÍNEZ-ABELLA, F., GONZÁLEZ-TABOADA, I., SILVA, P. **Study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates**. Constr. Build. Mater., 96, 2015.

24. FAN, Cheng-Chih; HUANG, Ran; HWANG, Howard; CHAO, Sao-Jeng. **Properties of concrete incorporating fine recycled aggregates from crushed concrete wastes.** Construction and Building Materials. Volume 112, 1 June 2016.

25. OMRANE, Mohammed; et al. **Performance and durability of self compacting concrete using recycled concrete aggregates and natural pozzolan**. Journal of Cleaner Production. Volume 165, 1 November 2017.

26. PEDRO, D.; EVANGELISTA, L., DE BRITO, D. **Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties**. Construction and Building Materials. Volume 154, 15 November 2017.

27. CAVALCANTI, D. J. de H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006, 141 p. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006.

28. EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification and guidelines for Self-Compacting Concrete.** 2002.

29. GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** São Paulo: Pini, 2009.

30. BERNARDO, Karen. **Concreto autoadensável com agregado miúdo reciclado de concreto.** 2019. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2019.

31. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**. Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2014.

32. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5**. Concreto autoadensável. Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do Funil-V. Rio de Janeiro, 2014.

33. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4**. Concreto autoadensável. Parte 4: Determinação da habilidade passante - Método da Caixa-L e da Caixa U. Rio de Janeiro, 2014.

34. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-1**. Concreto autoadensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.

35. ALENCAR, R. S. A. **Dosagem do concreto autoadensável: produção de pré-fabricados**. São Paulo-SP, 2008. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.