



DESENVOLVIMENTO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO

¹ Ricardo Barros de Castro (Centro Universitário Senai Cimatec) – ricardobarros97@outlook.com; ² Ricardo Freitas Filho (Centro Universitário Senai Cimatec) – rfsf2015@outlook.com; ³ Daniel Andrade Mota (Centro Universitário Senai Cimatec) – daniel.andrade@fiieb.org.br.

Resumo: O concreto autoadensável (CAA) representa um dos maiores avanços na tecnologia do concreto das últimas décadas. O uso deste tipo de concreto reduz custos com concretagem, uma vez que utilizam aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, bem como adições minerais tipo filler, dispensando a necessidade de adensamento. O Resíduo de Corte do Mármore e Granito (RCMG) é produzido em larga escala, tornando-se um sério problema ambiental, uma vez que constitui-se num pó extremamente fino. Essa mesma característica promove seu potencial para utilização como adição fina nos CAA. Os resultados demonstraram que é possível obter CAA contendo adição de RCMG, adequadamente homogêneo, coeso e durável.

Palavras-Chaves: Concreto autoadensável; resíduo; propriedades mecânicas; espalhamento.

DEVELOPMENT OF SELF COMPACTING CONCRETE WITH WASTE MARBLE AND GRANITE DUST ADDITION

Abstract: Self compacting concrete (SCC) represents one of the greatest advances in concrete technology in recent decades. Its use reduces concreting costs, because they use superplasticizers and viscosity modifiers, as well as mineral additions, without the necessity of densification. Waste marble and granite dust (WMGD) is produced on a large scale, making it a serious environmental problem, as it constitutes an extremely fine powder. This same characteristic promotes its potential for use as a fine addition in SCC. The results demonstrated that it is possible to obtain SCC containing addition of WMGD, suitably homogeneous, cohesive and durable.

Keywords: Self compacting concrete; waste marble and granite dust; mechanical properties; slump flow.



1 INTRODUÇÃO

O processo de adensamento/compactação do concreto utilizado em elementos estruturais é de fundamental importância para a obtenção de peças de boa qualidade. Sendo assim, o concreto autoadensável (CAA) vem adquirindo grande reconhecimento no mercado da construção civil e obtendo visibilidade e confiabilidade, visto que, além de possibilitar a confecção de peças estruturais de maior qualidade, o CAA confere o aumento da produtividade, redução do contingente de mão de obra no momento da concretagem, reduzindo, assim, os custos [1].

Os traços do CAA utilizam aditivos, a exemplo dos superplastificantes e modificadores de viscosidade, adições minerais tipo filler e/ou pozolânicas, além de menor volume e menor dimensão máxima característica dos de agregado graúdo, comparados aos usados nos concretos convencionais [2]. O uso de adições minerais provenientes de resíduos industriais proporciona ao concreto aprimoramento das suas características nos estados fresco e endurecido, além de reutilizar materiais que, a princípio, seriam dispostos no meio ambiente.

Alguns resíduos, como o proveniente do corte de mármore e granito (RCMG), são gerados em grandes proporções em muitas partes do país. Estimou-se que, somente no ano de 2013, foi produzido aproximadamente 1,25 milhões de toneladas deste resíduo, somente no Brasil [3].

Diante deste número expressivo, torna-se de extrema importância a viabilização do reaproveitamento deste material. Portanto, este trabalho tem como objetivo o estudo e desenvolvimento de um traço de CAA utilizando o RCMG.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O concreto autoadensável

O concreto autoadensável (CAA) tem a capacidade de se moldar às fôrmas, preenchendo os espaços simplesmente pela ação do seu peso, sem a necessidade de aplicação de vibração ou de qualquer tipo de energia de compactação externa. A autoadensabilidade do concreto no estado fresco é descrita como a habilidade de todo o material preencher espaços e envolver as barras de aço e outros obstáculos através, exclusivamente, da ação da força da gravidade, mantendo uma homogeneidade adequada [4].

Para ser considerado autoadensável, um concreto deverá atender às três propriedades: fluidez, coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço, ou simplesmente habilidade passante, e resistência à segregação [5]. Assim, garante-se que o CAA preencherá as formas de maneira uniforme e com o mínimo de vazios, não prejudicando o seu desempenho no estado endurecido.

No CAA são utilizados os mesmos materiais empregados nos concretos convencionais, quais sejam: aglomerante (cimento), agregados (areia e brita) e água, com a inclusão de aditivos químicos e de adições minerais.



A principal influência do cimento sobre o CAA é no seu estado fresco, afetando sua viscosidade e tensão de escoamento. O principal aspecto que deve ser observado quanto ao tipo de cimento a ser utilizado é a sua finura, teores de álcalis e de aluminato tricálcico (C_3A). Quanto maior esses teores, maior será a demanda por aditivo superplastificante [6].

A obtenção das propriedades de autoadensabilidade do CAA exige misturas com elevado volume de pasta e reduzido volume e dimensão máxima característica do agregado graúdo. Areias naturais são preferíveis por apresentar grãos com forma mais uniforme e arredondada, facilitando o escoamento. Agregados com distribuição granulométrica contínua proporcionam maior resistência à segregação.

Os aditivos modificadores de viscosidade também são utilizados com a finalidade de redução da segregação do CAA, uma vez que sua alta fluidez tende a propiciar a separação entre as partículas de agregados e a pasta de cimento. Visando garantir suas propriedades no estado endurecido, é bastante comum se utilizar também aditivos superplastificantes, que devem ter a capacidade de redução de, no mínimo, 20% do teor de água sem a perda de consistência [1].

2.2 As adições minerais

As adições minerais podem ser classificadas como quimicamente inertes ou reativas, de acordo com sua ação no concreto. As reativas contribuem para a formação dos hidratos, como cinzas originárias da queima de material vegetal ou mineral, sílica ativa e metacaulim. Já as quimicamente inertes provocam uma ação física, proporcionando uma estrutura com maior compacidade. Alguns exemplos são os filers de calcário, quartzo, e o resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) [7].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do CAA foram: cimento Portland, agregados naturais, aditivo hiperplastificante e resíduo proveniente do corte de mármore e granito.

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II-F-40, gentilmente cedido pela Votorantim cimentos.

3.1.2 Agregados

Neste estudo está sendo utilizada areia natural proveniente de jazida, localizada no município de Camaçari, situado na região metropolitana de Salvador. A brita utilizada é de origem basáltica, comercialmente disponível na cidade de Salvador.



3.1.3 Aditivo

Foi utilizado aditivo hiperplastificante Hyperkem 700, gentilmente cedido pela Novakem, com o intuito de reduzir a quantidade de água necessária à obtenção de uma consistência adequada.

3.1.4 Resíduo do corte de mármore e granito (RCMG)

O RCMG utilizado neste trabalho foi coletado em forma de lama, gerada por uma marmoraria localizada na região metropolitana de Salvador. A parcela utilizada é a passante na peneira com malha de abertura 300 μm , denominado RCMG # 300 μm , uma vez que dimensões dos grãos finos, geralmente utilizados em CAA, visando garantir parâmetros de autoadensabilidade, se enquadram nesta faixa de intervalo [7]. A utilização do resíduo com menor granulometria proporcionou uma mistura mais coesa, dispensando o uso de adições complementares, como a sílica ativa ou metacaulim.

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização dos agregados

A caracterização dos agregados foi realizada conforme métodos indicados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Métodos de ensaios utilizados para caracterizar os agregados.

Agregado miúdo		Agregado graúdo	
Propriedade	Método de ensaio	Propriedade	Método de ensaio
Massa específica	NBR NM 52	Massa específica	NBR NM 53
Massa unitária	NBR NM 45	Massa unitária	NBR NM 45
Distribuição granulométrica	NBR NM 248	Distribuição granulométrica	NBR NM 248

3.2.2 Dosagem do CAA

Até se chegar à mistura ideal, foram utilizados três traços distintos. Os dois primeiros traços foram elaborados conforme indicação de dois autores distintos [6,7], que utilizaram materiais com características semelhantes aos disponíveis para o desenvolvimento desta pesquisa. O terceiro traço foi obtido a partir de adequações realizadas nos dois anteriores.

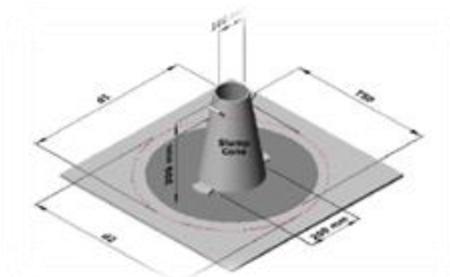
3.2.3 Caracterização do concreto no estado fresco

Para caracterizar o CAA no estado fresco foi utilizado o ensaio que mede a capacidade de espalhamento, tempo de escoamento e índice de estabilidade visual (IEV) do mesmo, mais conhecido por “Slump-flow test”, de acordo com o método preconizado pela NBR 15823-2:2017 - Concreto autoadensável - Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Este ensaio é um dos mais utilizados para verificação da capacidade do CAA de preenchimento das formas [2,5].



O ensaio de espalhamento consiste em preencher um tronco de cone com o CAA sem compactar e, em seguida, retirá-lo verticalmente, de forma lenta, deixando o concreto se espalhar pela base metálica. Sendo anotado o tempo em que o concreto se espalha até o diâmetro de 50 (cinquenta) centímetros (T50) em segundos, e o diâmetro final do concreto espalhado, através da média de duas medidas perpendiculares entre si. A Figura 1 mostra o aparato utilizado para realização do ensaio.

Figura 1 – Ilustração do aparato utilizado para ensaio de espalhamento.



3.2.4 Caracterização do concreto no estado endurecido

Para a determinação da resistência à compressão foram utilizados corpos-de-prova (CP's) cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, moldados conforme a NBR 5738:2003 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, e rompidos segundo a NBR 5739:2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, aos 7, 14 e 28 dias de idade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dosagem do CAA

A Tabela 2 mostra os traços utilizados, em massa. Os concretos foram concebidos visando um $f_{c28} = 46$ MPa, de acordo com a Curva de Abrams do cimento utilizado.

Tabela 2 – Traços de CAA utilizados na pesquisa.

Mistura	Cimento	Brita	Areia	Água	RCMG	Aditivo Hiper-plastificante
Traço 1	1,00	2,00*	1,96	0,50	0,50	0,017
Traço 2	1,00	1,76*	1,85	0,50	0,50	0,013
Traço 3	1,00	1,86**	1,84	0,50	0,50	0,020

*Dimensão máxima característica igual a 12,5 mm;

**Dimensão máxima característica igual a 9,5 mm.

4.2 Caracterização do concreto no estado fresco

Analisando a Tabela 3 a seguir, observa-se que os diâmetros médios de espalhamento (SF) foram praticamente iguais. O diâmetro de espalhamento do Traço 1 foi apenas 1,6% menor que o dos outros traços, porém seu tempo de espalhamento



foi cerca de 44% maior que do Traço 2, mostrando maior dificuldade de escoamento, aspecto que, na prática, acaba aumentando o tempo necessário para realizar uma concretagem.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de espalhamento do CAA-RCMG.

Mistura	Ensaio de espalhamento (Cone de Abrams)				
	d ₁ (cm)	d ₂ (cm)	SF (cm)	T50 (s)	IEV
Traço 1	81	84	82,5	6,54	3
Traço 2	81	86	83,5	3,63	2
Traço 3	83	84	83,5	4,58	0

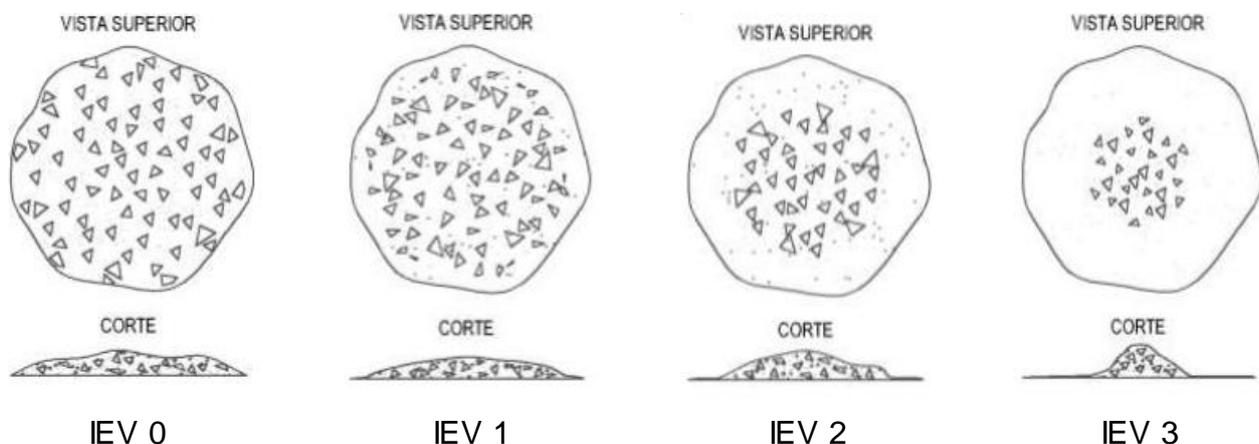
Analisando-se as figuras 2 e 3, é possível observar como o traço 3 apresentou-se mais homogêneo, sem qualquer sinal de segregação ou exsudação, enquanto o traço 2 apresentou leve acúmulo de agregado graúdo ao centro, e o traço 1 apresentou forte acúmulo de agregado graúdo e exsudação de pasta na periferia.

Figura 2 – Vista superior do CAA após o espalhamento.



De acordo com a NBR 15823, existem quatro índices de estabilidade visual (IEV), conforme mestrado na Figura 4.

Figura 4 – Aspectos visuais do concreto com relação ao seu IEV (NBR 15823).



A Tabela 4 traz a correlação entre os IEV's, ilustrados através das imagens da Figura 4, e as características visuais do CAA.

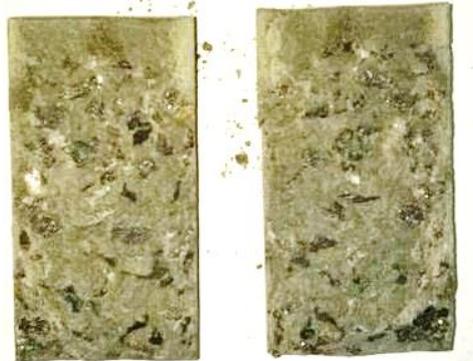


Tabela 4 – Interpretação visual do IEV (NBR 15823).

IEV	Características do concreto
IEV 0	Altamente estável Sem evidência de segregação Sem evidência de exsudação
IEV 1	Estável Sem evidência de segregação Leve exudação
IEV 2	Pequena auréola de argamassa ($\leq 10\text{mm}$) Leve acúmulo de agregados no centro
IEV 3	Segregação evidente Alto acúmulo de brita no centro Dispersão de argamassa na periferia

De acordo com a Figura 4 e a Tabela 4 pode-se concluir que os traços analisados classificam-se de acordo com o mostrado na Tabela 3, deixando claro que o traço 3 apresentou melhor homogeneidade, e pode ser aplicado de forma confiável em peças estruturais. A Figura 5 mostra uma seção aproximadamente diametral de um corpo de prova cilíndrico.

Figura 5 – Corpo de prova cilíndrico rompido por compressão diametral.



A partir da análise da imagem é possível constatar a homogeneidade do concreto lançado na forma metálica, observada a distribuição do agregado graúdo.

4.3 Caracterização do concreto no estado endurecido

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias de todos os traços, tanto os valores médios quanto os máximos, atenderam ao requisito de resistência estipulado ($f_{ck} = 46 \text{ MPa}$), com destaque para o traço 3, que apresentou resistência 31,3% maior, o que indica potencial de economia de cimento e aditivo plastificante nesta mistura.

Os resultados médios e máximos dos ensaios de resistência à compressão são mostrados na Tabela 5.



Tabela 5 – Resultados do ensaio de compressão dos 3 traços.

Mistura	Resistência à compressão			
	Idade (dias)	Média (MPa)	Máxima (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Traço 1	28	45,7	48,6	2,6
Traço 2	28	49,5	52,4	3,0
Traço 3	28	56,6	60,4	3,4

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados analisados, pode-se concluir o seguinte:

- O traço 3 apresentou a melhor homogeneidade e resistência entre as misturas analisadas;
- É possível utilizar RCMG como adição em CAA, mantendo seu bom desempenho;
- A utilização de RCMG, além de reduzir o dano ambiental provocado pelo seu descarte, reduz o custo do CAA.

6 REFERÊNCIAS

¹ REPETTE, W.L. Concreto autoadensável. In: **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed, v.1, cap. 48, ed. G.C. Isaia, São Paulo: Ibracon, 2011.

² GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. 139p. Tese – Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. (ABIROCHAS). **Situação mundial e posição brasileira no setor de rochas ornamentais em 2013**. Disponível em: <http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6661/Situacao_Mundial2013.pdf>. Acesso em dez. 2017

⁴ BOSILJKOV, V. B. **SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler**. In: Cement and Concrete Research, n. 33, p. 1279-1286, 2003.

⁵ ROONEY, M. J. **Assessment of the Properties of Fresh Self-Compacting Concrete with Reference to Aggregate Segregation**. Tese – University of Paisley/USA, 2002.

⁶ BARROS, P. G. S. **Avaliação das Propriedades de durabilidade do Concreto Auto Adensável obtido com RCMG**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFAL. Maceio, 2008.

⁷ CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFAL. Maceió, 2006.