

## **ESTUDO DE PROPRIEDADES DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS E COM CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO AGREGADO GRAÚDO OTIMIZADAS**

**VASCONCELOS, Caio Victor Souza Abreu de<sup>1</sup>;**

**BAÍA, João Felipe Barbosa<sup>2</sup>;**

**LISBÔA, Edvaldo Monteiro<sup>3</sup>;**

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Civil, UFAL, Maceió-AL (cvictorvasconcelos@gmail.com).

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Civil, UFAL, Maceió-AL (joaofelipeufal@gmail.com).

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Civil, UFAL, Maceio-AL (emlisboa@ig.com.br).

### ***Resumo.***

Este trabalho visa apresentar o reaproveitamento do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), que é gerado em abundância na natureza, utilizando-o como adição mineral nas dosagens de concretos em virtude da substituição parcial do agregado miúdo natural (AMN). O objetivo é contribuir com a sustentabilidade ambiental através da preservação de frações do material natural em substituição ao resíduo poluente. Além disso, produzir variações nas curvas granulométricas do agregado graúdo, que aperfeiçoem o desempenho de algumas propriedades do concreto. Para o estudo, foram produzidas seis misturas em duas séries distintas. Cada série possui uma mistura de referência, uma mistura com adição de RBMG e outra mistura tanto com a mesma adição de RBMG quanto com a curva granulométrica otimizada. No estado fresco foram estudadas a consistência, massa específica e teor de ar incorporado. No estado endurecido foram produzidos corpos-de-prova (CPs) cilíndricos de 10 cm x 20 cm para resistências à compressão (07, 14, 28 e 90 dias), resistência à tração na compressão diametral (28 dias) e absorção de água (28 dias). Nos ensaios de resistência à compressão, os resultados das quatro misturas com RBMG apresentaram, em sua maioria, melhor desempenho em relação à de referência. Já na resistência a tração e na absorção por imersão, os resultados das duas séries apresentaram variedades em relação à de referência. Através do teste T de Student, houve a análise estatística dos resultados para confirmar o efeito produzido pelo RBMG nos concretos estudados. Conclui-se então, que a presença do resíduo de rocha e as mudanças nas curvas granulométricas do agregado graúdo foram responsáveis por melhoras de desempenho.

***Palavras-chave:*** Concretos, Resíduo de Rocha, RBMG, Curvas Granulométricas.

## **1 INTRODUÇÃO**

De acordo com Moreira, Medina e Lourenço (2014), o agregado miúdo natural (AMN) vem se tornando cada vez mais escasso devido ao esgotamento de jazidas próximas dos grandes centros e, também, às inúmeras restrições impostas pelos órgãos ambientais no seu processo de extração. Dessa forma, com o intuito de combater a escassez crescente, são buscadas alternativas para a substituição total ou parcial do AMN. Uma alternativa estudada é a substituição deste material pelo resíduo gerado pelo próprio setor, como é caso Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito – RBMG.

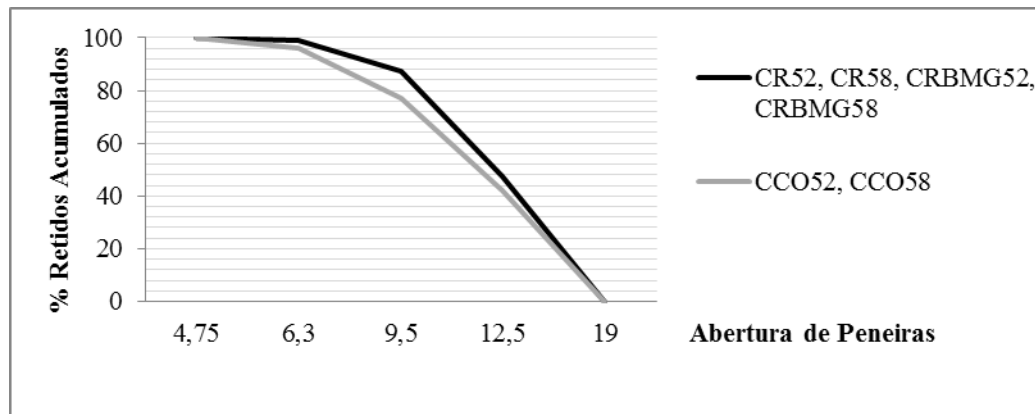
Segundo Kitamura (2011), o resíduo das rochas ornamentais é obtido durante o processo de beneficiamento da pedra na fase de corte, onde na operação de serragem, cerca de 30 % a 40% do volume do bloco é transformado em material fino, não possuindo utilidade no processo produtivo. Deste modo, o processo de beneficiamento das rochas ornamentais gera um grande volume de resíduos, os quais podem ser estudados para serem empregados como alternativa a substituição da areia natural. Nesse sentido, o emprego do RBMG como adição mineral em concretos poderia vir a reduzir a extração da areia natural e gerar assim benefícios ao meio ambiente. Adicionalmente, através de estudos anteriores, é comprovado que as propriedades do concreto no estado plástico são modificadas devido ao aumento da quantidade de materiais finos e inertes da adição na mistura, o que promove uma maior união da massa devido à tensão superficial da água adsorvida pela superfície dos materiais finos (ALBUQUERQUE, 2014). Isso faz com que esta substituição possa aumentar o desempenho físico e mecânico da pasta.

Um outro fator tem influência direta nas propriedades de concretos é a relação *a/c*. Para Assunção (2002) “as principais propriedades que estão vinculadas à relação *a/c* são: resistência aos esforços mecânicos e resistência aos agentes agressivos”. Desta forma, pesquisas que utilizem diferentes relações de *a/c* em misturas podem contribuir com o estudo de concretos tanto devido a sua influência na resistência quanto para a vida útil das edificações.

## **2 METODOLOGIA**

Este trabalho avaliou as propriedades tanto físicas como mecânicas de duas séries de concretos que possuem as mesmas curvas granulométricas, porém com diferentes proporções de RBMG e relações entre água e cimento. A primeira série, com três concretos ( $C_{R52}$ ,  $C_{RBMG52}$ ,  $C_{CO52}$ ), possui a relação entre água e cimento de 0,52 e substituição em seu volume de 10% do agregado miúdo natural (AMN) com granulometria inferior a 0,60mm pelo Resíduo de Beneficiamento do Mármore e Granito (RBMG) com granulometria inferior a 0,30mm. A segunda série ( $C_{R58}$ ,  $C_{RBMG58}$ ,  $C_{CO58}$ ) possui a relação de 0,58, mesmas curvas granulométricas e mesmas substituições da primeira série, diferenciando-se apenas pelo teor de substituição que é de 15%. Os concretos que serão utilizados como referências para as suas respectivas séries ( $C_{R52}$  e  $C_{R58}$ ) não possuem as curvas granulométricas otimizadas em seus agregados, como também não possui a adição por substituição do RBMG, sendo este concreto convencional. Os concretos com adições de RBMG diferem-se entre si pela curva granulométrica, pelos quais os concretos  $C_{RBMG52}$  e  $C_{RBMG58}$  possuem a mesma granulometria do concreto de referência e os concretos  $C_{CO52}$  e  $C_{CO58}$  com curvas granulométricas otimizadas

e inferiores à curva de referência. Na Figura 1 tem-se as curvas granulométricas utilizadas na pesquisa.



**Figura 1. Curvas Granulométricas do Agregado Graúdo. Fonte: Autores (2019).**

O método de dosagem para os concretos de referências utilizados foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Na Tabela 1 consta os dados de entrada do concreto de referência, em que os traços finais foram de 1: 1,96 : 2,72 : 0,52 (cimento: ag.miúdo: ag.graúdo: água) para a primeira série e 1: 2,28 : 3,03 : 0,58 para a segunda série. Os outros dados foram oriundos de ensaios seguindo as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

**Tabela 1 – Dados de entrada para dosagem dos concretos de referências. Fonte: Autores (2019).**

Ensaio	C <sub>R52</sub>	C <sub>R58</sub>	Ensaio	C <sub>R52</sub> e C <sub>R58</sub>
Resistência do Concreto (MPa)	30	25,5	M. U. C. do Ag. Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	1494
Relação água/cimento (kg/kg)	0,52	0,58	Massa Específica Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	3100
Vol. Do Ag. Miúdo (m <sup>3</sup> )	0,282	0,295	Massa Específica Ag. Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	2656
Dim. máx. do ag. graúdo (mm)	19		Massa Específica Ag. Miúdo (kg/cm <sup>3</sup> )	2667
Abatimento do Concreto (mm)	60 a 80		Massa Específica Água (kg/m <sup>3</sup> )	1000
Módulo de Finura Ag. Miúdo	2,5		Volume Comp. Do ag. Graúdo (m <sup>3</sup> )	0,7

No estado fresco foram analisados o teor de ar incorporado, a consistência (slump test) e a massa específica para todos os concretos. Foram registrados os parâmetros médios de umidade relativa do ar e a temperatura dentro do laboratório durante as confecções e os ensaios. No estado endurecido foram produzidos corpos de provas cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura) em que foram estudadas as propriedades de resistência à compressão e resistência à tração na compressão diametral.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Resultados no Estado Fresco

Os resultados de abatimento do concreto (slump test), teor de ar incorporado e massa específica constam na Tabela 2. Observando inicialmente os abatimentos do concreto (slump test), nota-se que os resultados dos concretos da primeira série, com relação entre água e

cimento de 0,52, foram inferiores ao estimado pelo método de dosagem (Tabela 1), entretanto esses resultados condizem com o esperado devido às condições de temperatura e umidade relativa do ar no laboratório durante o ensaio. Apesar disso, é visível o aumento do abatimento dos concretos com RBMG em relação ao concreto de referência. Para os concretos da segunda série, os resultados apresentaram valores dentro do intervalo estimado pelo método de dosagem (Tabela 1).

Analisando as massas específicas e os teores de ar incorporado, observa-se que as alterações promovidas pela pesquisa nas curvas granulométricas e nas substituições de AMN por RBMG proporcionaram diminuição no teor de ar incorporado e aumento nas massas específicas em relação aos concretos de referências. Dessa maneira, é perceptível que as misturas com RBMG apresentaram-se com menos porosidade e maior coesão, mesmo com relações entre água e cimento diferentes.

**Tabela 2. Resultados no Estado Fresco. Fonte: Autores (2019).**

Ensaio	C <sub>R52</sub>	C <sub>RBMG52</sub>	C <sub>CO52</sub>	C <sub>R58</sub>	C <sub>RBMG58</sub>	C <sub>CO58</sub>
Consistência (mm)	40	45	45	70	65	75
Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	2316,9	2371,6	2350,2	2377,2	2378,2	2378,1
Teor de Ar Incorporado (%)	2,78	0,4	1,3	1,2	0,14	0,18

### **3.2 Resultados no Estado Endurecido**

Os resultados de absorção por imersão aos 28 dias, resistência à compressão em diferentes datas e resistência à tração aos 28 dias constam na Tabela 3. Nota-se que apenas os concretos C<sub>RBMG52</sub> e C<sub>RBMG58</sub> apresentaram resistências à compressão aos 28 dias superiores aos estipulados pelo método de dosagem (Tabela 1). Os demais concretos têm resistências ligeiramente inferiores. Observando as duas séries, os concretos de referências possuem valores inferiores aos concretos com substituição. Já para os resultados dos ensaios de resistência à tração houve a variação entre 10% a 13% em relação aos valores de resistência à compressão.

Fazendo um recorte para os concretos com RBMG, percebem-se que C<sub>CO52</sub> e C<sub>CO58</sub> apresentam valores inferiores até os 28 dias aos concretos com curvas iguais aos da curva de referência. Isto deve estar relacionado à porosidade destes concretos, visto que os resultados de C<sub>RBMG52</sub> e C<sub>RBMG58</sub>, que possuem os menores valores de absorção por imersão, apresentam os maiores resultados de resistência. A figura 2 demonstra graficamente o crescimento de resistência à compressão em diferentes datas e apresentam-se com curvas semelhantes mesmo com diferentes substituições de RBMG e relações entre água e cimento.

**Tabela 3. Resultados no Estado Endurecido. Fonte: Autores (2019).**

Ensaio	C <sub>R52</sub>	C <sub>RBMG52</sub>	C <sub>CO52</sub>	C <sub>R58</sub>	C <sub>RBMG58</sub>	C <sub>CO58</sub>
Compressão 7 dias (MPa)	23,0	26,4	25,3	16,8	19,8	17,5
Compressão 14 dias (MPa)	24,2	26,8	28,9	18,1	21,3	21,0
Compressão 28 dias (MPa)	26,7	35,6	29,5	21,7	25,9	22,4
Compressão 90 dias (MPa)	32,2	36,1	39,1	27,8	31,6	30,3
Tração 28 dias (MPa)	3,5	3,7	3,5	2,8	3,1	3,0

Absorção por Imersão (%)	6,1	5,9	6,0	6,4	6,4	6,5
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

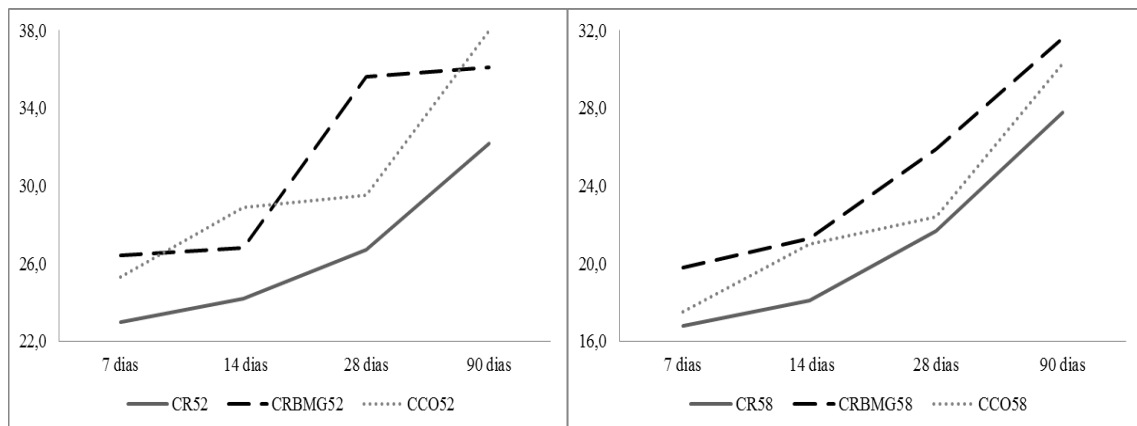


Figura 2. Resistência à Compressão a) Primeira Série; b) Segunda Série. Fonte: Autores (2019).

### 3.3 Análise dos Dados – Teste T de Student

Através do Teste T de Student podem-se comparar os resultados através da determinação dos valores médios, sendo-os Valores Estatisticamente (VE) maior (>), igual (=) ou menor (<) em comparação ao valor médio de referência. O teste analisa as variâncias dos dados através de diferentes graus de confiabilidade. Para a resistência à compressão, foram utilizados os graus de 99%, 95%, 90% e 75%. Ou seja, os Níveis de Significância (NS) são de 1%, 5%, 10% e 25%. O estudo foi realizado para as duas séries em que constam na tabela 4.

Observando o teste T de Student, os resultados da resistência à compressão dos concretos com a adição do resíduo apresentaram valores numericamente e estatisticamente superiores aos concretos de referência, na grande maioria dos casos das duas séries e em diferentes idades. O concreto CRBMG58 foi o que apresentou os maiores valores estatísticos e em mais níveis de significância.

Tabela 4. Resultados do Teste de T Student para Resistência à Compressão. Fonte: Autores (2019).

Idades	NS	Níveis de Significância (NS): 1% (1), 5%(2), 10% (3) e 25%(4); Valor Estatisticamente (VE): Igual (=), Menor (<) e Maior (>)					
		CR52	CRBMG52	CCO52	CR58	CRBMG58	CCO58
7 dias	NS	-	1, 2, 3 e 4	3 e 4	-	2, 3 e 4	4
	VE	-	>	>	-	>	>
14 dias	NS	-	4	2, 3 e 4	-	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3 e 4
	VE	-	>	>	-	>	>
28 dias	NS	-	2, 3 e 4	1, 2, 3 e 4	-	1, 2, 3 e 4	1, 2, 3 e 4
	VE	-	>	=	-	>	=
90 dias	NS	-	1, 2, 3 e 4	3 e 4	-	2, 3 e 4	4
	VE	-	=	>	-	>	>

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De maneira geral, o RBMG mostrou-se um importante material de adição ao concreto, visto que houve melhorias nas resistências em diferentes condições de dosagem e em ambas as séries, sendo comprovadas na análise estatística pelo teste de T Student. As alterações nas curvas granulométricas foram importantes critérios para diferenciação e avaliação da incorporação do RBMG em concretos, auxiliando nas comparações das diferentes séries. Além disso, o método de dosagem da ABCP (1998) mostrou-se satisfatório para os diferentes concretos sugeridos, aceitando muito bem as alterações propostas nas curvas granulométricas e nos teores de adição. Assim, os resultados dos ensaios realizados em concretos indica o RBMG como produto viável, de fácil utilização e com “dupla” sustentabilidade, pois pode reaproveitar o resíduo poluente em detrimento da preservação de materiais naturais.

#### **REFERÊNCIAS**

Associação Brasileira de Cimento Portland. **Parâmetros de Dosagem por Púbio Penna Firme Rodrigues**. São Paulo. 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222** – Concreto e Argamassa – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778** – Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro. 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9833** – Concreto fresco – Determinação da Massa Específica, do Rendimento e do Teor de Ar pelo Método Gravimétrico. Rio de Janeiro. 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67** – Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Rio de Janeiro. 1998.

Albuquerque., R. T. O., 2014. Adições minerais ao concreto: melhores propriedades, maior economia e mais sustentabilidade. **Revista Interdisciplinar da Universidade Veiga de Almeida**, pp 57 - 59, 2014.

ASSUNÇÃO, J. W., 2002. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do paraná. Disserta o (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.**

Kitamura., S., 2011. **Estudo Experimental sobre a Influência da Substitui o do Agregado Miúdo Natural por Granito Triturado, nas Propriedades do Concreto de Cimento Portland**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

Moreira, C., Medina, A.P., & Lourenço, L., 2014. Estudo da substitui o do agregado miúdo natural pelo resíduo da pedra de Pirenópolis em concreto de cimento Portland. **Revista Engenharia e Constru o Civil**., Curitiba - PR, v.1, n.2, pp 12-23, jul./dez., 2014.