



Concretos produzidos com resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais como substituto parcial de cimento

Concretos produced with waste from the processing of ornamental rocks as a partial substitute for cement

Maxwell Klein Degen (1); Geilma Lima Vieira (2); João Luiz Calmon (3); Juliana Gavini Uliana (4); Rubielly Santos Bastos (5)

(1) *Graduando de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo; (maxdegen@hotmail.com).*

(2) (3) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo; (geilma.vieira@gmail.com), (calmonbarcelona@gmail.com).*

(4) (5) *Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo; (juliana.gavini@gmail.com), (rubiellybs@yahoo.com.br).*

Resumo

A quantidade de resíduo que a indústria de rochas ornamentais produz, gira em torno de 1.610.000 toneladas por ano. A utilização desse resíduo para a produção de concreto é uma forma de reduzir os impactos ambientais negativos causados pela sua disposição inadequada no meio ambiente, e ainda de reduzir o consumo de recursos naturais. Os rejeitos em sua grande maioria são descartados em lagoas de decantação e aterros e são formados por materiais de elevada finura a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore e granito. Antes de utilizar o resíduo como substituto do cimento em concretos foi feita sua caracterização física, química e mineralógica. Para utilização em concretos os resíduos foram utilizados sem passar pelo processo de beneficiamento com as condições naturais de umidade, ou seja, sem tratamento prévio de secagem ou destorroamento. Foram produzidos concretos com substituição de 0%, 5%, 10% e 15% no intuito de avaliar suas propriedades mecânicas.

Palavra-Chave: Resistência à compressão, resistência a tração, resíduos de mármore e granito, concreto.

Abstract

The amount of residue that ornamental stones industry produces is around 1,610,000 tons per year. The use of this waste for the production of concrete is one way to reduce the negative environmental impacts caused by their improper disposal into the environment, and also to reduce the consumption of natural resources. The tailings are mostly discarded in landfills and decantation lakes and are made of materials with high fineness from the process of cutting, grinding and polishing of parts, made from granite and marble slabs. Before using the residue as a substitute for cement in concrete was made its physical, chemical and mineralogical characterization. For use in concrete waste were used without going through the beneficiation process with the natural conditions of moisture, other words, without treatment drying or loosening. Concretos were produced with substitution of 0%, 5%, 10% and 15% in order to evaluate their mechanical properties.

Keywords: Compressive strength, tensile strength, waste marble and granite, concrete.



1 INTRODUÇÃO

A indústria das rochas ornamentais gera uma enorme quantidade de efluentes. Os rejeitos em sua grande maioria são descartados em lagoas de decantação e aterros e são formados por materiais de elevada finura a partir do processo de recorte e polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore e granito. Esta lama residual é um rejeito que se tornou um problema ambiental pela quantidade produzida.

Uma forma de contribuir para o reaproveitamento desses resíduos é a utilização em concretos, pois uma boa parte dos resíduos gerados é reaproveitada e utilizada sob a forma de um novo produto, em benefício da sociedade. No entanto, deve-se caracterizar o mesmo de forma a garantir produtos de qualidade e de boa durabilidade. Este trabalho tem como objetivo a avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). O resíduo foi utilizado sob a forma de lama, ou seja, sem o tratamento prévio, e como um substituto parcial do cimento, dessa forma minimizaria os impactos ambientais causados pela deposição inadequada desses resíduos e os impactos causados pela crescente produção de cimento, que explora grandes quantidades de recursos naturais.

Foram produzidos concretos com 0%, 5%, 10% e 15% de substituição do cimento pelo resíduo, e ensaiado para avaliar o abatimento do tronco de cone, resistência à compressão axial e a resistência à tração por compressão diametral, de acordo com métodos normativos brasileiros de ensaios.

2 ENTENDENDO A PROBLEMÁTICA

A indústria das rochas ornamentais no Brasil gera uma enorme quantidade de efluentes, produzindo cerca de 1.610.000 toneladas de resíduo sólido por ano (CHIODI FILHO, 2005). Essa quantidade de resíduo gerada está distribuída nos Estados do Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros. No Estado do Espírito Santo essa quantidade chega a 700.000 toneladas por ano. Os rejeitos em sua grande maioria são descartados em lagoas de decantação e aterros.

A produção de rochas ornamentais, na maioria das vezes, é feita a partir da serragem, em chapas de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares. Na serragem, cerca de 25% a 30% dos blocos são transformados em pó, que é depositado nos pátios das empresas (GONÇALVES e MOURA, 2002; MOTHÉ FILHO, *et al.*, 2005). As marmorarias produzem grandes quantidades de resíduos em forma de lama, formada por finos a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas cortadas. Esta lama residual é um rejeito que se tornou um problema ambiental pela quantidade produzida.

Com o grande volume de resíduos gerado e na tentativa de contribuir para um maior desenvolvimento sustentável e um maior aproveitamento de resíduos na construção civil,



alguns pesquisadores têm estudado o resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de argamassas (CALMON *et al.*, 1997), peças cerâmicas (LIMA FILHO *et al.*, 1999) e em concretos (GONÇALVES, 2000; GONÇALVES e MOURA, 2002, LISBÔA, 2004).

No entanto, a maioria dos trabalhos faz uso do beneficiamento desses resíduos, ou seja, a lama proveniente dos resíduos da serragem de rochas ornamentais é separada, seca em ambientes específicos, e só então utilizada como material de construção em componentes construtivos. Em alguns casos, o processo de beneficiamento do material (secagem, caracterização) acaba sendo bastante dispendioso.

A proposta deste trabalho é fazer uso do RBRO, conhecidos como “lama”, sem passar pelo processo de beneficiamento. A lama foi utilizada na forma como é gerada, sem secagem em ambientes específicos, o que facilita várias etapas do processo de reaproveitamento do resíduo. Sua aplicação em concretos se deu utilizando o resíduo como substituição parcial do cimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização dos materiais para produção de concreto

Para a produção dos concretos foram utilizados: cimento CP III-40 RS, areia natural, brita granítica, água de uma concessionária local e o RBRO.

3.2 Cimento

O cimento CP III-40 RS foi escolhido por ser o mais largamente utilizado na região do Espírito Santo.

3.3 Resíduo de rochas ornamentais

Na tabela 1 estão expostas as principais características físicas do RBRO utilizado para a produção do concreto.

Tabela 1: Caracterização do resíduo utilizado na produção de concreto.

CARACTERÍSTICA ANALISADA	RESÍDUO	UN	MÉTODO DE ENSAIO
Umidade	26,28	%	-
Permeabilidade ao ar (Método de Blaine)	8180,3	cm ² /g	NBR NM 76 (ABNT, 1996)
Massa Específica	2,764	g/cm ³	NBR NM 23 (ABNT, 2000)
Massa Unitária – Método C	789,01	Kg/m ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)	9,01	%	NBR 11579 (ABNT, 1991)

Na figura 1 observa-se a distribuição granulométrica do RBRO.

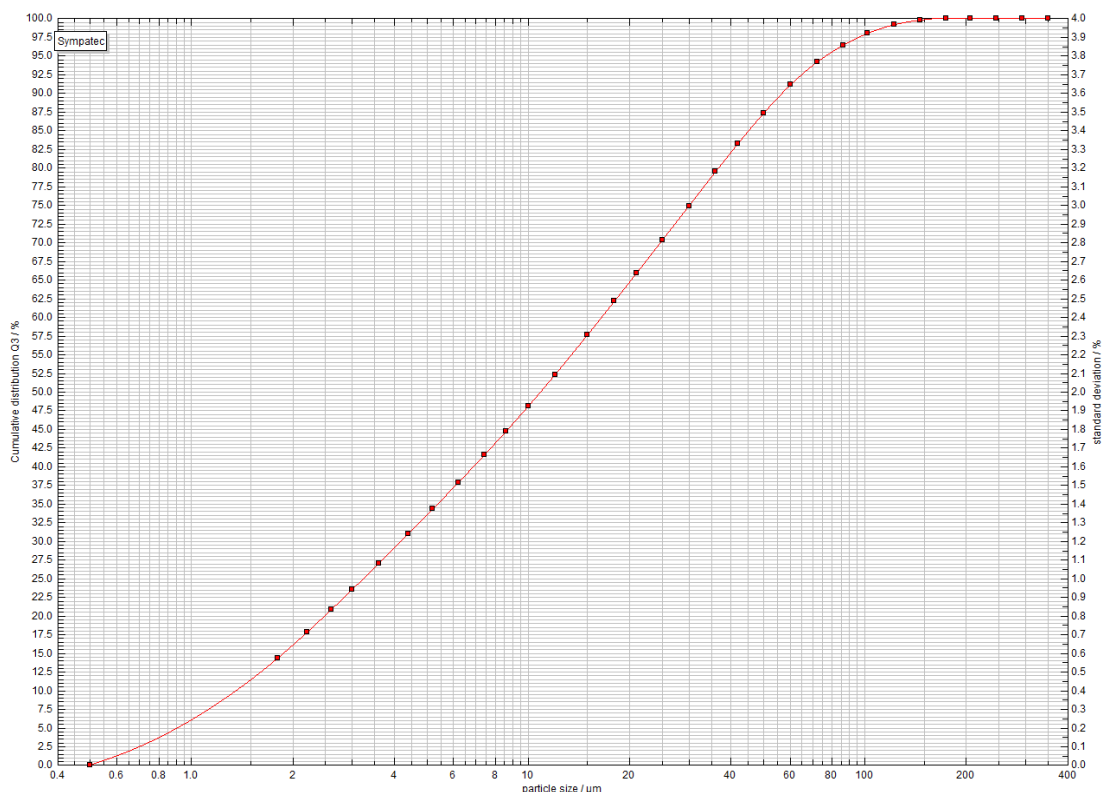


Figura 1: Distribuição granulométrica do RBRO.

3.4 Agregado miúdo

Como a grande maioria dos agregados miúdos naturais extraídos no estado, o que foi utilizado é quartzoso. Na tabela 2 estão expostas as principais características físicas do agregado miúdo foram serão utilizados na produção dos concretos.

Tabela 2: Caracterização do agregado miúdo utilizado na produção de concreto

CARACTERÍSTICA ANALISADA	AREIA	UN	MÉTODO DE ENSAIO
Dimensão Máxima Característica	2,36	mm	NBR NM 248 (ABNT, 2009)
Módulo de Finura	2,65	-	NBR NM 248 (ABNT, 2009)
Massa Específica	2,64	Kg/dm ³	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa Unitária – Método C	1,48	Kg/dm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Volume de Vazios	43,1	%	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Material Pulverulento	0,43	%	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Matéria Orgânica	Mais clara	-	NBR NM 49 (ABNT, 2001)

3.5 Agregado Graúdo

A brita que foi utilizada para a produção do concreto é de origem granítica. Na tabela 3 estão apresentadas as principais características do agregado graúdo analisadas.

Tabela 3: Caracterização do agregado graúdo utilizado na produção de concreto

CARACTERÍSTICA ANALISADA	RESULTADO	UNIDADE	MÉTODO DE ENSAIO
Massa específica	2,73	Kg/dm ³	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Massa unitária - Método C	1,44	Kg/dm ³	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Índice de vazios	47,25	%	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Módulo de finura	5,93	-	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Dimensão máxima característica	9,50	mm	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Absorção de água	1,82	%	NBR NM 53 (ABNT, 2009)

3.6 Determinação do traço do concreto

A dosagem dos concretos seguiu o método do EPUSP/IPT (HELENE; TERZIAN, 1992). As dosagens utilizadas para a preparação dos concretos estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: Dosagem dos materiais em massa

COMPOSIÇÃO	CIMENTO	BRITA	AREIA	RESÍDUO	a/c
CR	1	2,24	1,52	0	0,45
CR	1	2,79	2,15	0	0,55
CR	1	3,35	2,77	0	0,65
S5	0,95	2,24	1,52	0,05	0,45
S5	0,95	2,79	2,15	0,05	0,55
S5	0,95	3,35	2,77	0,05	0,65
S10	0,90	2,24	1,52	0,1	0,45
S10	0,90	2,79	2,15	0,1	0,55
S10	0,90	3,35	2,77	0,1	0,65
S15	0,85	2,24	1,52	0,15	0,45
S15	0,85	2,79	2,15	0,15	0,55
S15	0,85	3,35	2,77	0,15	0,65

NOTA: CR – referência; S5 - 5% substituição de cimento; S10 - 10% substituição de cimento; S15 - 15% substituição de cimento; a/c Relação água cimento.

A partir do traço de referência, foram realizadas as substituições de 5%, 10% e 15% de RBRO em substituição ao cimento.



3.7 Produção dos concretos

Para a mistura dos materiais foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado e os materiais foram vertidos na seguinte sequência: toda a brita e parte da água do traço e então misturou-se por aproximadamente 30 segundos. Em seguida o cimento e todo o resíduo dissolvido em metade da água do traço. Misturou-se por aproximadamente 2 minutos e então colocou-se toda a areia e o restante da água.

A moldagem e cura dos corpos de prova seguiram as prescrições da norma brasileira NBR 5738 (ABNT, 2003), sendo feito adensamento manual. Os corpos de prova foram desformados após 24 horas da moldagem, identificados e acondicionados em tanques contendo solução supersaturada de cal.

3.8 Ensaio de Abatimento do tronco de cone

Após a mistura do concreto foi feito o ensaio de abatimento do tronco de cone para verificar a consistência do concreto segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). O ensaio basicamente consiste no preenchimento de um tronco de cone em três camadas de igual altura, sendo em cada camada dados 25 golpes com uma haste padrão. O valor do abatimento é a medida do adensamento do concreto logo após a retirada do molde cônico.

3.9 Ensaio de Resistência à compressão e Resistência a tração

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial e resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias, sendo retirados da cura em imersão um dia antes da realização do ensaio para retificação das faces. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados conforme especificações da norma brasileira NBR 5739 (ABNT, 2007) e os ensaios de resistência a tração conforme a norma brasileira NBR 7222 (ABNT, 2010). Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de materiais de construção – LEMAC na Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Abatimento do tronco de cone

Na tabela 5 verifica-se o comportamento do concreto quanto à sua consistência e observa-se que ao aumentar a porcentagem de substituição do cimento pelo RBRO o concreto apresenta-se com a trabalhabilidade reduzida.

Tabela 5: Abatimento do tronco de cone

% Substituição	A/C	Abatimento
0%	0,45	8,00
0%	0,55	4,50
0%	0,65	4,50
5%	0,45	5,00
5%	0,55	16,50
5%	0,65	9,00
10%	0,45	6,00
10%	0,55	4,00
10%	0,65	2,00
15%	0,45	2,50
15%	0,55	1,50
15%	0,65	0,50

4.2 Resistência à compressão axial

Os concretos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial na idade de 28 dias. Os valores médios e o coeficiente de variação de cada ensaio estão apresentados na Tabela 6 e foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA), com o auxílio do programa Statistica 7.0 cujos resultados estão resumidos na Tabela 6. Foi verificada a significância estatística a um nível de confiança de 95%, entre os fatores controláveis (fontes de variação) e seus respectivos níveis. Na tabela 7 é possível verificar que as variáveis relação a/c, percentual de substituição e a interação relação a/c x percentual de substituição apresentaram-se estatisticamente significativas.

Tabela 6: Resistência à compressão axial

% Substituição	A/C	Resistência a Compressão (média)	CV (%)
0%	0,45	33,28	1,32
0%	0,55	26,50	3,58
0%	0,65	21,47	1,82
5%	0,45	34,55	2,34
5%	0,55	22,92	2,53
5%	0,65	19,50	2,26
10%	0,45	33,24	1,87
10%	0,55	20,56	2,72
10%	0,65	15,64	1,47
15%	0,45	30,37	2,73
15%	0,55	23,53	5,61
15%	0,65	15,22	4,20

Fatores de variação	SQ	GL	MQ	F	P	Significância
a/c	3515,72	2	1757,86	3498,0	0,00000	S
% Substituição	272,65	3	90,88	180,9	0,00000	S
a/c * % Substituição	152,71	6	25,45	50,6	0,00000	S
Erro	41,21	82	0,50			

SQ: Soma Quadrática. GL: Graus de liberdade. MQ: Média Quadrática.

Na figura 2 apresenta-se um gráfico do percentual de substituição do resíduo versus a resistência à compressão axial, analisados estatisticamente.

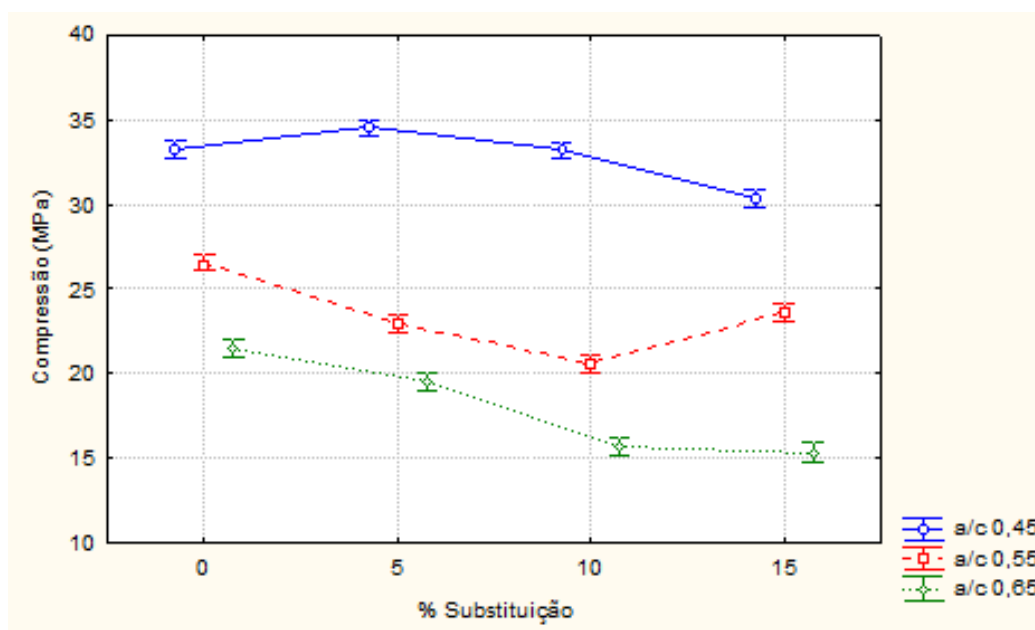


Figura 2: Diagrama resistência à compressão axial - % de substituição.

Observa-se que nos concretos com relação água/cimento de 0,45 que o resíduo proporcionou maior resistência à compressão axial com 5% de substituição do cimento, comparado ao concreto de referência e atingiu valor de resistência muito próximo ao concreto com 10% de substituição. Para os concretos com 15% de substituição a resistência diminuiu. Para a relação a/c de 0,45 os concretos produzidos com 5% e 10% se mostraram mais eficientes podendo ser explicado pelo efeito filler do resíduo que preenche os espaços vazios deixando o concreto mais compacto melhorando assim sua resistência.

Para as relações a/c de 0,55 e 0,65 observou-se que na substituição de 5%, 10% e 15% houve queda no valor da resistência à compressão, comparados ao concreto de referência.

4.3 Resistência à tração por compressão diametral

Os concretos foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral na idade de 28 dias. Os valores médios e o coeficiente de variação de cada ensaio estão apresentados na Tabela 8 e foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA), com o auxílio do programa Statistica 7.0 cujos resultados estão resumidos na Tabela 9. Foi verificada a significância estatística a um nível de confiança de 95%, entre os fatores controláveis (fontes de variação) e seus respectivos níveis. Na tabela 9 é possível verificar que as variáveis relação a/c, percentual de substituição e a interação relação a/c x percentual de substituição apresentaram-se estatisticamente significativas.

Tabela 8: Resistência à tração por compressão diametral

% Substituição	A/C	Resistência à Tração por Compressão (média)	CV (%)
0%	0,45	3,49	9,46
0%	0,55	2,86	15,03
0%	0,65	2,59	8,49
5%	0,45	3,68	7,07
5%	0,55	2,64	18,56
5%	0,65	2,56	7,81
10%	0,45	3,48	10,06
10%	0,55	2,23	10,76
10%	0,65	1,98	5,05
15%	0,45	3,00	9,00
15%	0,55	2,59	5,79
15%	0,65	1,90	10,53

Tabela 9: Análise de variância da resistência à tração por compressão diametral com o percentual de substituição e relação a/c

Fatores de variação	SQ	GL	MQ	F	P	Significância
a/c	21,9608	2	10,9804	128,314	0,00000	S
% Substituição	4,4921	3	1,4974	17,498	0,00000	S
a/c * % Substituição	2,1454	6	0,3576	4,178	0,001028	S
Erro	7,0171	82	0,0856			

SQ: Soma Quadrática. GL: Graus de liberdade. MQ: Média Quadrática.

Na figura 3 apresenta-se um gráfico do percentual de substituição do resíduo versus a resistência à tração por compressão diametral, analisados estatisticamente.

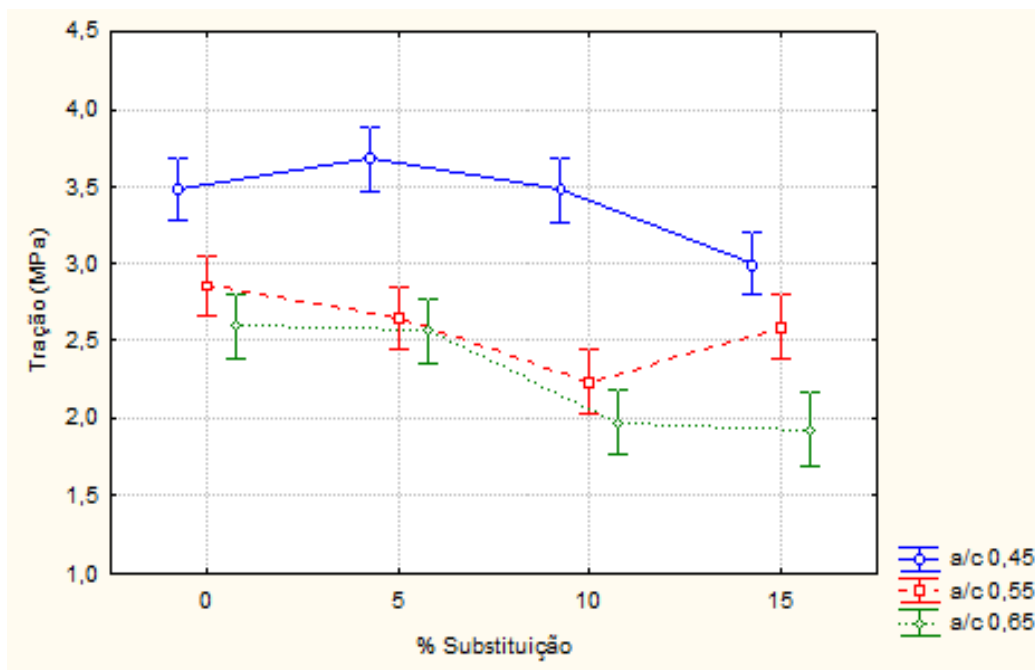


Figura 3: Diagrama resistência à tração por compressão diametral - % de substituição.

Nos concretos com relação água/cimento de 0,45 o resíduo proporcionou maior resistência à tração por compressão diametral com 5% de substituição do cimento, comparado ao concreto de referência. Com 10% de substituição o concreto atingiu valor de resistência muito próximo ao concreto de referência. Para os concretos com 15% de substituição a resistência diminuiu. Para a relação a/c de 0,55 os concretos produzidos com 5% e 15% obtiveram resistência parecida com o concreto referência, e para o concreto com 10% houve uma queda de resistência. Para a relação a/c de 0,65 o concreto com melhor desempenho comparado ao concreto referência foi o com 5% de substituição e para os percentuais de 10% e 15% a resistência diminuiu.

5 CONCLUSÃO

A utilização de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais é viável para utilização em concretos proporcionando redução da quantidade de resíduo depositado em lagoas de decantação e aterros e o desenvolvimento de concretos ambientalmente sustentáveis, pois com a substituição parcial do cimento pelo resíduo pode-se reduzir o consumo de materiais naturais.

Os resultados puderam comprovar que a incorporação de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais não afetou o desempenho dos concretos produzidos em determinadas proporções, tanto com relação à resistência a compressão axial, quanto à resistência à tração por compressão diametral, podendo ser utilizado como um substituto parcial do cimento.



Quanto a sua trabalhabilidade analisada pelo ensaio do abatimento do tronco de cone o concreto perde trabalhabilidade a medida que se aumenta o percentual de substituição do cimento pelo RBRO.

Quanto à resistência a compressão o teor de 5% de substituição foi o que melhor se destacou para a relação água/cimento de 0,45, onde houve um incremento na resistência e para a resistência a tração por compressão diametral os teores de 5% e 10% com relação a/c de 0,45 se mostraram com a mesma resistência do concreto referência.

No entanto, mais pesquisas necessitam ser realizadas com o objetivo de comprovar o comportamento dos concretos produzidos com incorporação de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais, analisando outras propriedades.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

_____.NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____.NBR 7211 - Agregados para concreto. São Paulo, 2009.

_____.NBR 7222 - Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

_____.NBR 11579 - Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____.NBR NM 23 - Cimento Portland - Determinação e massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____.NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____.NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem (material pulverulento). Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR NM 49 - Agregado miúdo. Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

_____.NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.



_____.NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica e massa aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____.NBR NM 76 – Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1996.

_____.NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.

BATTAGIN A. F.; BATTAGIN, I. L. da S (2010). A Norma Brasileira de água de amassamento do concreto: uma contribuição para a sustentabilidade, *Concreto e Construções*, São Paulo, n.58. abr./maio/jun, pp. 37-45

CALMON, J. L. *et al.* (1997), “Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento”, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Anais... Salvador, BA: ANTAC, pp.64-75.

CHIODI FILHO, C. (2005), “Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil – mercados interno e externo”. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife: Deminas, DAU, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS. Anais... 28p.

GONÇALVES, J. P. (2000), Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) para a produção de concretos. Dissertação (Mestrado) – NORIE/UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W.A. (2002), “Reciclagem do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil”, SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. 2002, Recife, PE. Anais... Recife, PE, pp.179-189.

HELENE, P., TERZIAN, P. (1992) Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: Pini.

LIMA FILHO, V.X. *et al.* (1999), ”Determinação de parâmetros para racionalização do processamento de rochas graníticas por abrasão”, CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15., 1999. São Paulo,

LISBÔA, E. (2004), Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas. Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-graduação em engenharia Civil. Maceió – AL, Brasil.

MOTHÉ FILHO, H. F.; POLIVANOV, H.; lisb, C. G. (2005), “Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais”, Rio de Janeiro: Anuário do Instituto de Geociência. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Vol. 28-2, p. 139-151.