

Incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais em concreto autoadensável como Ecofiller

Incorporation of processing waste of ornamental concrete self-compacting as Ecofiller

Fábio Conrado de Queiróz

Bolsista Capacitação Institucional, Tecnólogo em Construção Civil, *M. Sc.*

Núria Fernández Castro

Supervisora, Engenharia de Minas, *M. Sc.*

Resumo

As empresas que processam mármore e granito, para rocha ornamental, acabam gerando no seu processo de beneficiamento, algo em torno de 40% de perdas, na forma de lascas e finos que atualmente são depositados em aterros, com capacidade limitada e que buscam a utilização desses resíduos. Os finos apresentam potencial de utilização em concretos como filler em produtos de base cimentícia, por sua fina granulometria e, em função de uma parceria do CETEM com o Instituto Internazionale del Marmo, busca-se incorporá-los ao concreto autoadensável por possuir em sua composição uma quantidade considerável de material granular de baixíssima granulometria. O concreto autoadensável é um concreto que apresenta elevada fluidez, trabalhabilidade e elevada resistência inicial, nivelando-se pela ação da gravidade sem necessidade de vibração. É muito utilizado na construção bombeado em obra, com o qual poderia ser uma boa aplicação para o aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais, por sua capacidade de absorção de grandes volumes. No presente trabalho, em andamento, estão sendo elaboradas misturas de concreto autoadensável, com resíduos de um aterro de Cachoeiro de Itapemirim, seguindo dosagens do IS.I.M e cujas características tecnológicas estão sendo testadas com auxílio das empresas Minerasul, Holcim e Chimica Edile do Brasil. Testes preliminares em obra obtiveram bons resultados com 100 kg de resíduo por m³ de concreto e testes preliminares nos laboratórios do NRES e da Minerasul mostraram que o resíduo é passível de ser incorporado ao concreto. Inicialmente estão sendo elaborados traços de concreto utilizando os resíduos de mármore e nos concretos obtidos serão feitos os ensaios apontados na norma ABNT NBR 15823:2010. Os resultados a serem obtidos darão suporte para a incorporação de resíduos de outros materiais, (granito e outros).

Palavras-chave: Ornamental stones, Wastes recycling, Self-compacting concrete.

Abstract

Companies that process marble and granite for ornamental stones, end up generating in its processing, approximately 40% of losses in the form of chips and fines that are currently stocked in landfills, with limited

capacity and seeking to use such waste. The fines have potential for use in concrete as filler, for its fine grain-size and, due to a partnership of CETEM with the Istituto Internazionale del Marmo – I.S.I.M., this study aims to use them in self-compacting concrete as this concrete needs in its composition a considerable amount of granular material of very low particle size. The self-compacting concrete has high fluidity, workability and high early strength, leveling up by gravity without vibration. It is widely used in building pumped on site, what could be a good application for the recovery of waste of ornamental stones, for its ability to absorb large volumes. In this work in progress, are being developed self-compacting concrete mixtures with waste from a landfill of Cachoeiro de Itapemirim, following IS.IM dosages and whose technological features are being tested with the help of Minerasul, Holcim and Chimica Edile in Brazil. Preliminary tests on site obtained good results with 100 kg of waste per m³ of concrete and preliminary tests in NRES and Minerasul laboratories showed that the residue is capable of being embedded in the concrete. Initially are being prepared concrete mixtures using waste marble whose technological characteristics will be tested following the NBR 15823: 2010 standard. The expected results to be obtained will support the incorporation of other materials wastes (granites and others).

Key words: Fine sawdust blocks, self-compacting concrete, reuse alternatives, rocks, concrete

1. Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais. Segundo ABIROCHAS (2016), a produção no Brasil, no ano de 2015, foi de 9,5 Mt, sendo que dessas, 2,32 Mt foram exportadas. Deve se destacar que mais da metade das exportações, em peso, são de materiais beneficiados (chapas polidas ou com outro acabamento). Durante o beneficiamento primário, que consiste na serragem dos blocos extraídos nas pedreiras em chapas, quase 40% do bloco, em volume, é transformado em resíduos constituídos de lascas (casqueiros) e resíduos finos (pó de rocha). Esses finos, após processos de separação sólido líquido nas serrarias, por meio de sistemas decantadores e filtros prensa, são depositados em aterros licenciados por órgãos ambientais. Estima-se uma produção anual desse resíduo, no país, de mais de 1,5 Mt (VIDAL *et al.*, 2013). As lascas, que podem chegar a 16% do volume dos blocos beneficiados) também são depositadas nos mesmos aterros quando não utilizadas localmente em pequenas quantidades. No Estado do Espírito Santo, principal pólo produtivo do setor, há mais de 30 aterros licenciados pelos órgãos ambientais, tanto de associações ou de empresas e somente no município de Cachoeiro de Itapemirim há 12 desses aterros que se encontram no limite de sua capacidade. Para tanto, faz-se necessário encontrar métodos de aproveitamento desses resíduos de forma que eles se tornem um subproduto de rochas ornamentais e também matéria prima para outros processos e produtos.

No Brasil, o consumo estimado de agregados naturais, somente na produção de concretos e argamassas é de aproximadamente 220 milhões de toneladas (JOHN, 2000) A aplicação do resíduo em matrizes cimentícias tem se mostrado uma alternativa viável, (GONÇALVES, 2000; MENEZES *et al.*, 2009; ARUNTAŞ *et al.* 2010; CORINALDESI *et al.*,2010; TOPÇU *et al.*, 2009), pela elevada finura e pela utilização como filler, minimizando o uso de recursos naturais, contribuindo para suprir as necessidades habitacionais, reduzindo custos, respeitando

a geodiversidade e, conseqüentemente, a biodiversidade. A produção de argamassas comuns já é possível com resíduos de rochas ornamentais, porém, sua aplicação em produtos de maior valor como argamassas colantes, de reboco e outros produtos para a construção como concretos especiais, vem se desenvolvendo em diversas partes do mundo.

Em 2014, o CETEM formalizou termos de cooperação técnica com o Instituto Internacional do Mármore (IS.I.M), da Itália, e as associações brasileiras Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcários do Espírito Santo (Sindirochas), e Associação Ambiental Monte Libano (Aamol), visando ao desenvolvimento de pesquisas para o aproveitamento dos resíduos. Em função desses acordos, o Núcleo Regional do Espírito Santo – NRES/CETEM, iniciou a preparação de seus laboratórios e sua equipe técnica para esse tipo de estudo, tendo sido já realizados um treinamento pelo técnico do IS.I.M, o Eng. Paolo Marone, na produção de argamassas, com coleta e caracterização de resíduos na Aamol, e na Associação de Desenvolvimento Ambiental do Mármore e Granito – Adamag, associação ligada ao Sindirochas, e em várias empresas. Nessa ocasião foram realizados testes preliminares de incorporação de resíduos em argamassas colantes e em concreto que tiveram resultados positivos. Antes esses resultados e pela falta de infraestrutura necessária para o estudo, o NRES continuou a articulação com a empresa Minerasul Indústria e Comércio de Agregados Ltda. - Minerasul e a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, o que permitirá a realização de ensaios específicos. Com o apoio da Chimica Edile do Brasil Ltda., foram realizados testes em obra, no Rio de Janeiro, da incorporação de resíduo fino da produção de mármore, na dosagem de 100 kg por metro cúbico de concreto autoadensável, utilizado na construção de parede de concreto. O resultado dessa incorporação foi considerado muito positivo pela empresa construtora, tendo se comprovado, na prática, que o resíduo do beneficiamento de mármore constitui um ótimo filler para esse tipo de produto, destacando-se, ainda, que o resíduo foi incorporado “in natura”, ou seja, sem necessidade de secagem ou beneficiamento prévio. Por outro lado, o IS.I.M, na Itália, vem desenvolvendo diversos produtos de concreto leve que incorporam o filler de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais, denominado pela equipe internacional de Ecofiller, com grande sucesso.

Dos estudos preliminares realizados pelo CETEM e pelas instituições parceiras, depreende-se que o uso do resíduo no concreto apresenta um caráter mais imediato, pois pode ser incorporado *in natura* e a mistura realizada em obra, sem necessidade de tratamento prévio, o que representaria a construção de plantas de produção, como o caso das argamassas. Considerando que a Aamol já se encontra em fase de construção de uma planta de argamassa comum, decidiu-se continuar o estudo pelo uso em concreto autoadensável.

O concreto autoadensável é um concreto que apresenta elevada fluidez e trabalhabilidade, apesar de utilizar menos água o que é compensado pela adição de aditivos, e que apresenta uma elevada resistência inicial. Nivela-se pela ação da gravidade e possui a capacidade de preenchimento de todo o espaço a ser ocupado sem necessidade de vibração, dando condições de permear em locais com maior facilidade em relação ao concreto convencional. O concreto convencional acaba apresentando algumas limitações em função da sua granulometria. Apresenta dificuldade de se executar estruturas com formas complexas e altas taxas de armaduras, onde o concreto não preencherá todos os espaços, mesmo se for vibrado no local, gerando falhas de concretagem, por esse motivo, o concreto autoadensável vem ganhando espaço na construção e é muito

utilizado na correção de imperfeições de contrapisos pelas suas características reológicas (NAKAKURA.; BUCHER, 1997; SOUZA *et al.*, 2012).

2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo buscar alternativas de uso dos finos de serragem de blocos na composição do concreto autoadensável.

3. Materiais e Métodos

O estudo iniciou com a realização de testes preliminares para a incorporação de resíduos finos do beneficiamento de mármore em uma mistura de concreto, de traço padrão, e analisadas suas características de trabalhabilidade e resistência mecânica. Inicialmente, foi coletada amostra de resíduos de serragem de rocha ornamental, no aterro da Adamag e procedeu-se à secagem, homogeneização e quarteamento da mesma. Posteriormente, foram realizadas a caracterização granulométrica, por peneiramento via úmido de uma alíquota de 100 g e a picnometria para obtenção da densidade da amostra. Os agregados utilizados na composição do concreto foram cedidos pela Minerasul e, após homogeneização e quarteamento, foi realizada a análise granulométrica, seguindo a norma ABNT NBR NM 248:2003.

Na mistura de concreto elaborada foi realizado o Teste de Abatimento de Tronco de Cone (*Slump Test*), de acordo à ABNT NBR NM67/98. Foram então confeccionados 6 corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm para se testar a resistência a compressão de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007. O ensaio de resistência foi realizado na empresa Minerasul aos 7 e 28 dias de cura.

Com base nos resultados dos testes preliminares, iniciou-se a preparação da fase seguinte, em andamento, na qual pretende-se utilizar maior quantidade de resíduo, incluindo finos e agregados produzidos a partir da cominuição de pedaços resultantes do corte dos blocos (casqueiros). A fase atual deste trabalho segue orientações do IS.I.M para a elaboração dos traços. O material foi coletado na Adamag e seu tamanho reduzido, com marreta e por britagem no NRES e classificado por peneiramento. Os outros agregados serão fornecidos pela Minerasul. O cimento a ser utilizado será o CP V ARI, que será fornecido pelo fabricante Holcim e que disponibilizou seu centro de pesquisas e todos os equipamentos necessários para caracterização do concreto autoadensável para atendimento aos requisitos apontados pela norma ABNT NBR 15823:2010, que trata do concreto em questão. Os aditivos foram fornecidos pelo IS.I.M e pela Química Edile do Brasil. A água utilizada será a fornecida pela empresa de abastecimento de águas do município de Cachoeiro de Itapemirim.

No momento de elaboração deste trabalho está sendo finalizada a análise granulométrica dos agregados produzidos com resíduos e nos próximos dias serão elaboradas as primeiras novas misturas, para testes no laboratório móvel da Holcim que será instalado temporariamente no NRES.

Nos agregados serão realizados os ensaios: Análise granulométrica - NBR. NM 248; Materiais carbonosos ASTM C 123:2012; Ensaio de expansão RAA – ABNT NBR 15577-4:2008; Massa específica ABNT NBR NM

52:2009; Massa unitária ABNT NM 45:2006; Absorção de água ABNT NBR NM 30:2001; Inchamento ABNT NBR 6467:2006

Nas misturas de concreto elaboradas serão realizados os ensaios (ABNT NBR 15823:2010, partes 1 a 6): Classe de espalhamento (slump-flow), Classe de viscosidade plástica aparente t500 (sob fluxo livre) VS, Classe de habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre) PJ, Classe de habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado) PL, Classe de viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado) VF, Classe de resistência à segregação SR.

4. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a distribuição granulométrica dos agregados utilizados na elaboração do traço de concreto do teste preliminar. Todos os agregados analisados encontram-se dentro das suas respectivas faixas de utilização conforme a norma ABNT NBR 7211. A composição granulométrica do resíduo encontra-se na Tabela 2, onde é possível observar que 95 % da amostra apresenta granulometria inferior a 0,075 mm, adequada ao seu uso como filler de concreto.

Tabela 1: Granulometria dos agregados constituintes do concreto

Abertura (mm)	Brita 0 Retido Acumulado (%)	Brita 1 Retido Acumulado (%)	Solo Brita Retido Acumulado (%)	Areia Retido Acumulado (%)
19	-	15,01	-	-
12,5	-	88,81	-	-
9,5	12,72	99,22	-	-
6,3	52,30	99,69	-	--
4,75	79,26	99,69	-	-
2,36	99,30	99,78	9,90	0,18
1,18	99,44	99,79	27,66	2,34
0,6	99,49	99,82	50,94	10,55
0,3	99,55	99,85	69,67	50,53
0,15	99,64	99,89	84,90	96,73
0,075	99,73	99,94	93,62	99,55
<0,037	100	100	100	100

Tabela 2: Composição granulométrica do resíduo

Abertura (mm)	Retido Acumulado (%)
0,150	1,60
0,106	4,41
0,075	14,63
0,053	25,35
0,037	44,89
<0,037	100

O abatimento de tronco de cone resultou em 12 cm, valor que mostra que o concreto produzido com resíduo tem uma alta fluidez, característica importante para ser bombeado em obra.

A resistência à compressão foi de 30,23 Mpa com cura de 7 dias e 35,89 Mpa com cura de 28 dias. O resultado mostra boa resistência (a norma indica mínimo de 25 MPa a 7 dias), e algo superior que a do padrão comercial da Coneresul (35,60 Mpa) a 28 dias, indicando que o resíduo pode atuar como filler, embora a diferença seja pequena. No entanto, o valor obtido a 28 dias atende o requisito da ABNT NBR 6122:2010 recomenda uma resistência mínima de 15 Mpa para concretos após 28 dias.

O trabalho, iniciado há quatro meses, está na fase de elaboração de novas misturas com a inclusão, além dos finos dos resíduos, de agregados produzidos com os resíduos grosseiros do beneficiamento de rochas ornamentais.

5. Conclusão

Os resultados dos testes preliminares foram satisfatórios indicando viabilidade do uso do resíduo fino como filler na composição do concreto, tanto pela alta fluidez (*slump* 12 cm) quanto pela resistência à compressão obtida.

O trabalho está em andamento e graças a articulação do NRES com parceiros locais, está sendo possível preparar novas misturas cujas características serão testadas nos laboratórios do NRES, da Coneresul e da Holcim. Os resultados dos ensaios que serão apresentados pelo concreto no estado fresco deverão atender os parâmetros apontados pela norma ABNT NBR 15823 (1 a 6): 2010 para que possa ser considerado concreto autoadensável. Outros estudos poderão ser feitos devendo abordar a resistência dos concretos quando em uso, apontando a capacidade de adesão, envelhecimento, resistência a álcalis dos cimentos e demais problemas decorrentes de seu uso. Caso os resultados sejam positivos, como esperado, também deverão ser procurados aditivos nacionais em substituição dos utilizados nesta etapa, fornecidos pelo IS.I.M, de origem italiana.

O desenvolvimento deste projeto de aproveitamento de resíduos também está auxiliando o NRES na implementação do laboratório de agregados, com o reforço de equipamentos, capacitação da equipe e elaboração de rotinas e instruções de trabalho.

6. Agradecimentos

Ao CNPQ pela bolsa concedida, CETEM/NRES, ao engenheiro Paolo Marone do Istituto Internazionale del Marmo, à empresa Minerasul na pessoa do Sr. Jacques Gomes, à Holcim pela disponibilização do laboratório e à Adamag pelo fornecimento dos resíduos. Agradeço o auxílio dos colegas do NRES, Hieres Vettorazzi nos

trabalhos do laboratório e a Leonardo Cattabriga, Leandro D'Agostim e Nuria Castro na elaboração deste trabalho.

7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Abirochas em notícia – ABINEWS – Bela Vista – SP, Jan/Mar 2015. Disponível em: <http://issuu.com/abirochas/docs/abirochas_em_noticia_1> Acesso em: 20 fev. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM C123 / C123M-14**, Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

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

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico -. Rio de Janeiro: ABNT, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 15577**: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 15823**: Concreto auto-adensável Partes 1 a 6. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ARUNTAŞ, H.; GÜRÜ, M.; DAYI, M.; TEKIN, I. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials and Design*, v.31,p.4039–4042, 2010.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T. R. Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 113-117, 2010.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. Porto Alegre, 2000. 135f. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JOHN, V.M., **Reciclagem de Resíduos sólidos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento** (tese de livre docência). São Paulo: EPUSP. 102p. 2000.

MENEZES, R. R.; FARIAS FILHO, J.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas. *Cerâmica*, v. 55, p. 263-270, 2009.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações. **II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Salvador, 1997.

SOUZA, A. S; FERREIRA, Z. F.; AZEVEDO, B.L.O. **Estudo para o desenvolvimento de argamassa autonivelante para contrapiso** 2012. 86p. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, (Brasil).

TOPÇU, I.; BILIR, T.; UYGUNOĞLU, T. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v 23, p.1947-1953, 2009.

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais** – Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. 1.ed. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2013. 700p. ISBN: 987-8261-005-3.