

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

Use of natural stones processing waste as Ecofiller in self-compacting concrete

Fábio Conrado de Queiróz

Bolsista PCI, Tecnólogo em Construção Civil, *M.Sc.*

Nuria Fernández Castro

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

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados da primeira etapa de um estudo, em parceria entre o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, o *Istituto Internazionale del Marmo* da Itália – IS.I.M e a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, que busca o aproveitamento dos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) como Ecofiller para concreto autoadensável – CAA. O concreto autoadensável é um produto muito demandado pela construção civil por suas características de se autocompactar sem necessidade de vibração, sua fluidez, que permite o bombeamento e a adequada penetração nas estruturas metálicas das obras e por sua alta resistência quando endurecido. O CAA utiliza grandes quantidades de adições minerais, muito finas, semelhantes às LBRO. Por outro lado, estima-se que mais de 2Mt de LBRO sejam produzidas no Brasil anualmente as quais não tem utilização e são depositadas em aterros, embora alguns estudos já apontem sua adequação para uso como filler. Para isso está sendo elaborado um mapa (SIG) de disponibilidade de resíduos com localização, quantidades e características e foram já caracterizados 14 aterros de LBRO no sul do Espírito Santo e 20 amostras de resíduos, organizados por tipos de material e tecnologia de beneficiamento utilizada. Nas amostras coletadas foram realizadas análises granulométricas, químicas, mineralógicas e de densidade. Os resultados preliminares são muito promissores, especialmente devido à granulometria dos materiais, com $d_{50} \approx 20 \mu\text{m}$ e $d_{90} < 120 \mu\text{m}$ sendo, teoricamente, muito adequados a esse tipo de utilização. A segunda etapa do estudo está iniciando, na ABCP, com a preparação de misturas de concreto com filler de três tipos de LBRO e análise do CAA produzido.

Palavras chave: Resíduos, LBRO, concreto autoadensável, ecofiller.

Abstract

This study presents the results of the first stage of a research project of the Centre for Mineral Technology – CETEM, *Istituto Internazionale del Marmo* of Italy - IS.I.M and the Brazilian Portland Cement Association - ABCP partnership, aiming the use of natural stones' processing wastes (LBRO) as Ecofiller for self-compacting concrete - SCC. Self-compacting concrete is a product demanded by the building industry for its characteristics of compaction by its own weight, without the need for vibration, its fluidity, which allows pumping and proper penetration in the formworks and its strength when hardened. The SSC uses large amounts of mineral additions, very fine-grained, similar to the LBRO. On the other hand, it is estimated that more than 2Mt of LBRO are produced annually in Brazil, which are not used and are storage in licensed deposits, although some studies already indicate their suitability for use as a filler. To this end, a map (GIS) of waste availability with location, quantities and characteristics is being elaborated and 14

LBRO deposits in the south of Espírito Santo have been characterized and 20 waste's samples, of various types of material and processing technology used, were analyzed. The collected samples were analyzed regarding particle-size, chemical and mineralogical composition, and density. Preliminary results are very promising, especially due to the grain-size of the materials, with $d_{50} \approx 20 \mu\text{m}$ and $d_{90} < 120 \mu\text{m}$ being theoretically very suitable for this type of use. The second stage of the study is starting, at ABCP, with the preparation of concrete mixtures with filler of three types of LBRO and analysis of the produced SCC.

Key words: Natural stones wastes, self-compacting concrete, ecofiller.

1. Introdução

O Brasil produziu, em 2016, 9,3 Mt de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2017). Do total produzido, na nossa estimativa, 80% são de material beneficiado, constituindo-se de chapas serradas e polidas. Atualmente há três tipos de equipamentos (teares) para o desdobramento em chapas dos blocos extraídos das pedreiras: os convencionais (ou multilâmina) que cortam as rochas mediante um quadro de lâminas de aço e com auxílio de uma mistura abrasiva constituída de água, gralha de aço, cal ou bentonita; os de fio diamantado (ou multifio) que serram as rochas por meio de um conjunto de fios diamantados (cabos de aço onde estão insertados segmentos constituídos de uma liga metálica com diamante industrial); e os teares diamantados (de uso comum para materiais menos abrasivos, como mármore e pedra-sabão) que consistem em um quadro de lâminas de aço com segmentos de abrasivo diamantado soldados nas lâminas. Na serragem dos blocos, 26% em volume é transformado em resíduo fino, constituído principalmente de pó de pedra (SOUZA *et al.*, 2012) mas que pode ter aporte de resíduos dos insumos de serragem (em maior proporção no caso da serragem em teares convencionais). Na fase de polimento, realizada em politrizes com abrasivos resinoides, magnesianos e diamantados, também são gerados resíduos, em torno de 100 kg/m³ de bloco processado (MARCON *et al.*, 2014) que também podem incorporar resíduos de resinas utilizadas no polimento, além de resíduos dos abrasivos utilizados. Esses resíduos finos são classificados como Classe II A – não perigosos e não inertes, de acordo à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10), no Brasil, motivo pelo qual devem ser depositados em aterros licenciados pelos órgãos ambientais. No Espírito Santo, estado responsável por mais de 80% do beneficiamento do país, há mais de 40 aterros de lama abrasiva de rochas ornamentais (LBRO), como são denominados, licenciados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA, em atendimento à Instrução Normativa IEMA 12/2007. Neles, depositam-se, anualmente, cerca de 2 Mt de resíduos, de acordo também à nossa estimativa, sendo um dos grandes desafios do setor de rochas ornamentais a sua utilização, diminuindo os impactos e melhor aproveitando a matéria prima extraída. Muitos estudos, em nível acadêmico, têm sido feitos, demonstrando a viabilidade de uso desse tipo de resíduos na construção civil, por ser grande consumidora de matérias primas e pela importância ambiental da redução do consumo de cimento: o CETEM, dentre outros, estudou seu uso em argamassas, concretos, blocos e pisos (SILVA&CASTRO, 2015; REIS & CASTRO, 2015; FREIRE *et al.*, 2010; D'AGOSTIN *et al.*, 2016) e, tendo esses resíduos características, químicas e físicas, adequadas a

esse tipo de uso, o CETEM, por meio de um Termo de Cooperação Internacional com o *Istituto Internazionale del Marmo* – IS.I.M e a Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, busca efetivar sua utilização em obras. Definiu-se o estudo para sua utilização em concreto autoadensável, em primeira instância, por ser um produto de grande demanda atualmente no mercado, tanto para lajes quanto para paredes de concreto.

Desenvolvido nos anos 1980, o concreto autoadensável – CAA, como seu nome indica, tem a propriedade de se autocompactar pelo seu próprio peso, sem necessitar de vibração. Autocompactável em estado fresco, evita a aparição de defeitos iniciais com pouca idade e, quando endurecido, apresenta resistência a fatores externos (OKAMURA&OUCHI, 1999). Utiliza-se de aditivos superplastificantes e grandes quantidades de adições minerais, com granulometria inferior à do cimento, que ocupam os vazios dotando de estabilidade e coesão à mistura, e reduzem a exudação e a segregação, servindo assim de melhoradores da viscosidade e a trabalhabilidade do CAA (CASTRO *et al.*, 2009). Elyamany e outros (2014) estudaram o efeito de diversos tipos de fillers, pozolânicos (sílica ativa ou microssílica e cinzas volantes) e não-pozolânicos (pó de mármore e pó de granito) e demonstraram que o pó de granito melhora as propriedades de resistência do concreto e diminui a segregação e a exudação, quando comparado aos fillers pozolânicos, tendo obtido CAA com menor índice de vazios e menor absorção de água. Barros (2008), em seu estudo de utilização de resíduos de corte de mármore e granito no CAA, indica que, de acordo com a literatura, diâmetros de partículas minerais de entre 80 µm e 125 µm são ideais para seu uso como filler, pois há necessidade de grande superfície específica e, mesmo tendo utilizado resíduos de tamanho até 300 µm, obteve um CAA com propriedades de durabilidade superiores aos concretos de referência.

2. Objetivos

O objetivo deste projeto é caracterizar os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais visando sua utilização como adição mineral, ECOFILLER, em concreto autoadensável, a ser testado na ABCP, e elaborar um mapa de disponibilidade dos diversos tipos de resíduos, de acordo ao Plano de Trabalho estabelecido no Termo de Cooperação CETEM-IS.I.M.-ABCP.

3. Material e Métodos

Foi realizado um levantamento dos aterros licenciados no Espírito Santo, estado que concentra a maior parte do beneficiamento de rochas ornamentais do país, com dados obtidos do IEMA e das prefeituras de Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Vargem Alta e os responsáveis contatados solicitando sua participação. Obteve-se, nesta fase, a participação de 14 aterros, os quais foram visitados, no período de março a maio de 2017, para aplicação de um questionário, visando à caracterização dos aterros, que incluía informações como quantidades e tipos depositados, prática de separação por tipo de material ou tecnologia de beneficiamento, expectativa de vida do aterro, conhecimento de possibilidade de utilização

dos resíduos ou estudos em andamento e foram coletados 10 kg de 19 amostras dos diversos materiais disponíveis nesses aterros, conforme detalhado na Tabela 1. Foi também coletada uma amostra de serragem de quartzito em tear multifio, em uma empresa da região, por ser um material muito produzido atualmente e cujos resíduos ainda não são separados (identificada, neste trabalho, pelo código QZT 439).

Tabela 1. Detalhamento das amostras de resíduos coletadas nos aterros.

Quantidade de amostras	Cód.	Detalhamento
13	MIX	Resíduos misturados de serragem e polimento de todos os tipos de rochas, sem separação de tecnologia de beneficiamento.
1	SIL	Resíduos de rochas silicáticas sem separação por tecnologia de beneficiamento (serragem em teares multilâmina ou multifio e polimento).
1	CAL	Resíduos de rochas calcárias sem separação por tecnologia (serragem em teares de lâminas diamantadas e polimento).
1	TRA	Resíduos de travertinos sem separação por tecnologia (serragem em teares de lâminas diamantadas e polimento).
1	M+F	Resíduos de mármore com feldspato (serragem em teares multifio e multilâminas diamantadas e polimento).
1	MLA	Resíduos de serragem em teares multilâminas,
1	MFI	Resíduos de serragem em teares multifio diamantado, de mistura de tipos de rocha (silicáticas normalmente).

Com as informações coletadas foi elaborado um mapa de localização, quantidade e tipos de resíduos de aterros de associações, com o uso do ArcGis © que se espera completar para todo o estado.

As amostras foram preparadas no Laboratório de Rochas Ornamentais – LABRO do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/NRES, por secagem, desagregação, peneiramento em tela de 2,0 mm (10 mesh), homogeneização e quarteamento para retirada das alíquotas necessárias para a realização de: Análise química semiquantitativa (*standardless*) por fluorescência de raios X – FRX em espectrômetro (WDS-2), modelo AXIOS (Panalytical) na COAMI do CETEM-RJ; análise mineralógica por difração de raios X – DRX, pelo método do pó, em equipamento Bruker-D4 Endeavor, com software Bruker AXS Diffrac.Plus, também na COAMI do CETEM-RJ; determinação da densidade real por picnometria e análise granulométrica, em granulômetro laser, modelo Mastersizer 2000, da Malvern, no NRES do CETEM.

4. Resultados e Discussão

A distribuição granulométrica de todas as amostras resultou muito semelhante, sendo as partículas muito finas, uniformes, com d_{10} próximo a 2, 5 μm , $d_{50} \approx 22 \mu\text{m}$ e d_{90} de 50 a 120 μm , sendo os resíduos de corte com fio diamantado (MFI 427/2 e QTZ 428) os que apresentaram menores d_{90} , próximos a 50 μm e a maioria das outras amostras com valores aproximados a 80 μm , granulometria adequada para uso como filer. A densidade obtida para as amostras foi condizente com a das rochas, variando entre 2,622 g/cm^3 e 2,861 g/cm^3 e os resultados das análises químicas das amostras encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química das amostras de LBRO coletadas.

AMOSTRA	Composição química (% de óxidos)										
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	PPC
MIX 422	3,20	1,50	15,80	60,80	0,44	< 0,1	3,70	4,60	0,72	7,40	1,40
MIX 423	4,70	1,60	19,70	56,40	0,32	-	4,50	3,90	0,76	6,20	1,20
MIX 424	3,90	1,50	17,70	61,00	0,35	-	4,00	3,70	0,69	5,20	1,30
MIX 425	4,10	1,90	18,10	57,30	0,42	-	3,90	4,20	0,83	7,70	0,85
MIX 427/3	3,30	2,00	14,60	67,80	0,21	-	3,20	2,70	0,41	3,50	2,00
MIX 428/1	3,50	1,50	14,70	66,50	0,29	< 0,1	3,20	3,80	0,62	5,80	1,50
MIX 430	3,50	1,60	16,50	61,50	0,38	0,11	3,60	3,40	0,70	7,10	1,20
MIX 431	3,30	3,50	15,50	58,70	0,42	0,13	3,20	5,30	0,77	4,50	4,30
MIX 434	3,60	1,60	16,60	61,60	0,41	0,13	3,60	4,20	0,71	6,40	0,69
MIX 435	3,30	1,70	16,20	62,70	0,35	< 0,1	3,60	3,80	0,62	5,80	1,50
MIX 440	2,80	4,70	13,20	46,50	0,33	< 0,1	2,80	12,40	0,57	4,70	11,60
MIX 441	4,40	1,60	19,40	59,30	0,37	< 0,1	4,60	3,60	0,77	4,00	1,10
MIX 442	3,80	1,60	17,00	59,70	0,39	< 0,1	3,90	4,30	0,73	6,50	1,40
SIL 420/4	3,20	2,00	15,80	58,50	0,43	0,23	3,50	4,60	0,67	8,00	2,60
CAL 420/1	0,16	21,10	0,60	5,80	< 0,1	< 0,1	< 0,1	29,10	< 0,1	0,12	42,70
TRA 420/3	< 0,1	21,60	0,31	4,80	< 0,1	< 0,1	< 0,1	29,80	ND	< 0,1	43,20
M+F 420/2	1,40	12,50	5,80	27,20	< 0,1	< 0,1	1,10	21,60	< 0,1	0,65	29,30
MLA 427/1	3,40	1,40	16,40	64,20	0,23	-	3,70	3,20	0,50	5,70	0,82
MFI 427/2	3,5	0,79	14,4	72,8	0,16	-	3,3	1,5	0,34	2,1	0,76
QZT 439	<0,1	<0,1	<0,1	99,4	ND	ND	<0,1	0,14	<0,1	<0,1	0,22

Pode se observar que os materiais misturados, situação mais comum nos aterros de LBRO, têm composições semelhantes, com altos teores de SiO₂, esperável por serem de origem silicática a maioria dos materiais processados na região. No caso da amostra MIX 440, a combinação de valores algo inferiores de SiO₂ e Al₂O₃ e superior de CaO indica que houve maior contribuição de resíduos de materiais carbonáticos. Quanto à tecnologia de beneficiamento, mesmo os resíduos estando misturados, observa-se que valores mais elevados de Fe₂O₃ apresentam-se com valores mais elevados de CaO, o que pode indicar que a maioria dos resíduos dessas amostras sejam provenientes da serragem com teares convencionais, sendo parte desses óxidos provenientes dos insumos de serragem. Os resíduos de travertino e de calcários são muito semelhantes quanto à composição química, como era de se esperar e a mistura de resíduos de mármore e feldspato, realizada pelo responsável de um dos aterros, parece muito interessante para uso em rochagem, pelos conteúdos de Ca, Mg e K apresentados. O resíduo de multifio (MFI 427/2) mostra uma composição que, provavelmente, é devida à mistura de granitos comerciais e quartzitos, o que está de acordo com a prática de uso de fio diamantado: realizar a serragem de blocos de materiais mais abrasivos, como quartzitos, intercalada com serragens de granitoides de abrasividade média (granitos amarelos) e inclusive de materiais muito pouco abrasivos, como noritos, com a finalidade de manter a melhor afiação das pérolas diamantadas dos fios do tear. Quanto à possibilidade de uso como filer de concreto autoadensável, não se observa, a princípio, nenhum impedimento em função da composição química, porém deve ser verificado que não haja muito

material argiloso que possa absorver água em excesso, na mistura de concreto, e que a sílica contida nos resíduos não seja reativa ao ponto de causar a formação do gel expansivo que danifica o concreto e que é formado em reações álcali – agregados. No obstante, acredita-se que, devido à finura dos resíduos, isto não deva acontecer ao ponto de danificar o concreto. As análises mineralógicas foram condizentes com os resultados das análises químicas, revelando maior presença de minerais típicos de rochas silicáticas nas amostras de resíduos misturados (MIX), e picos de dolomita na amostra MIX 440, discutida anteriormente.

Com base nos resultados obtidos, e em discussão conjunta com os parceiros da ABCP e do IS.I.M, foram selecionados três tipos de resíduos para se continuar o estudo nos laboratórios da ABCP.

5. Conclusões

Os resultados da caracterização dos diversos tipos de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais apresentam-se muito promissores quanto à possibilidade de utilização como aditivos minerais não reativos, que podem melhorar as propriedades de trabalhabilidade, resistência e durabilidade do concreto autoadensável. No caso dos resíduos de materiais carbonáticos seu uso como ecofiller é uma alternativa sustentável à produção de filer calcário que requer de etapas de moagem para alcançar a finura requerida e que os resíduos do beneficiamento das rochas ornamentais já apresentam, podendo ser usados in natura. O uso dos resíduos de materiais misturados e os de materiais silicáticos, ainda com variações em sua composição, também parece viável, sendo necessário ainda estudar se haverá desenvolvimento de reações álcali-agregados e a influência dos materiais argilosos neles contidos. A segunda etapa deste estudo está sendo já iniciada na ABCP e o mapa continua sendo elaborado, de forma a se ter, no final do estudo um mapa de disponibilidade de matérias primas secundárias para a construção civil, pois nele constarão a localização, quantidade e características dos resíduos. O mapa será de grande importância para se avaliar a viabilidade econômica da utilização, por ser a distância aos possíveis clientes (obras), afinal, o ponto decisivo, devido aos custos de transporte.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela bolsa concedida, ao CETEM e aos aterros pela infraestrutura e apoio nas análises, aos parceiros Paolo Marone (IS.I.M), Rubens Curti, Rubens Monge e Ana Sílvia Silveira (ABCP) pelas orientações, a Riccardo (Chimica Edile) pelo entusiasmo e a os colegas do NRES pelas contribuições ao trabalho, em especial à Thalissa, Bolonini, Leo Cattabriga, Carlos Eduardo, Elton, Hieres, Saulo, Millena e Flávio.

7. Referências Bibliográficas

- ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Apresentação em reunião na APEX. Brasília, 2 de março, 2017.
- BARROS, PEDRO GUSTAVO DOS SANTOS. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil : Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008. 101 f. : il.
- CASTRO, L. *et al.* Desempenho de concretos avançados para a construção civil, formulados a partir do método de dosagem computacional / **Cerâmica** 55 (2009) 233-251.
- D'AGOSTIN, L., VIDAL, F. W. H., CASTRO, N. F. Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de concreto. In: Jornada de Iniciação Científica, 24. **Anais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016. 5p.
- ELYAMANY HAFEZ E., ELMOATY M., ELMOATY A, BASMA MOHAMED. Effect of filler types on physical, mechanical and microstructure of self compacting concrete and Flow-able concrete - **Alexandria Engineering Journal** (2014) 53, 295–307 - <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2014.03.010>.
- FREIRE, L. C.; CASTRO, N. F.; SILVEIRA, L. L. L. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada PCI do CETEM, 2., Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2010.
- MARCON, D B.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. Estudo do beneficiamento do resíduo de rochas ornamentais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.
- OKAMURA, H, OUCHI, M., Self-compacting concrete. Development, present use and future, in: **Proceedings** of first international RILEM symposium on self-compacting concrete, RILEM Publications, Stockholm, 1999,pp.3–14.
- REIS, C. F.; CASTRO, N. F. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada do PCI do CETEM, 4. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.
- SILVA, J. P.; CASTRO, N. F. Avaliação da viabilidade do uso de miniunidades de fabricação de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais. In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA DO CETEM, 04. Rio de Janeiro. **Anais**. CETEM/MCTI, 2015.
- SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; FERNÁNDEZ CASTRO, N. Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2012.