

Efeitos da substituição parcial de cimento Portland por resíduo de marmoraria calcinado em argamassas

(Effects of partial replacement of Portland cement by calcined marble residue in mortars)

K. L. Lopes^{1,2}; M. L.P. Antunes¹; F. R. Leite¹; A.B. Vergani, L. A.P. Alves²; C. H. Gomes²

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Av. Três de Março, 511 - Sorocaba - SP, 18087-180

²Centro Universitário Facens

Rodovia Senador José Ermírio de Moraes, 1425, - Castelinho km 1,5 - Alto da Boa Vista,
Sorocaba - SP, 18087-125
karina.leonetti@facens.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é utilizar os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais - calcinado (RBRO-C) como substituto parcial do cimento Portland em argamassas. O resíduo do processo de corte das rochas foi coletado na forma de lama e seco em estufa, em seguida foi transformado em pó e, então, queimado em mufla a 500°C. Para a caracterização do resíduo foram utilizadas as técnicas de FTIR, DRX, e FRX. Constatou-se que o resíduo possui essencialmente Ca, Si, Ca, Fe e Al em sua composição química. Assim, o resíduo foi incorporado a argamassas, na proporção de 1:3 (cimento:areia), em massa, substituindo o cimento nos teores de 0, 7,5, 10 e 20%. Os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão. Por fim, a partir dos resultados preliminares foi possível concluir que a há a viabilidade da substituição parcial do cimento em argamassa produzidas com RBRO-C.

Palavras chave: Rochas Ornamentais, Resíduo de Corte Calcinado, Substituição Parcial do Cimento Portland, Argamassas

Abstract

The objective of this paper is to use ornamental rocks residues - calcined (OSTR-C) as a partial substitute for Portland cement in mortar. The residue from the rock cutting process was collected as mud and dried in a furnace, then it was transformed into powder and then burned in a muffle at 500°C. For the characterization of the residue the techniques of FTIR, XRD, and XRF have been. It was found that the waste has essentially Ca, Si, Ca, Fe and Al in its chemical composition. Thus, the residue was incorporated to the mortar, in a ratio of 1: 3 (cement: sand), mass, replacing the cement in the contents of 0, , 7,5, 10 e 20%. The specimens were submitted to tensile strength tests in flexion and compression. Finally, from the preliminary results it was possible to conclude that the partial replacement of cement in mortar produced with OSTR-C is feasible.

Keywords: Ornamental Rocks Residue, Calcined Residue, Portland Cement, Mortars

INTRODUÇÃO

Na construção civil, historicamente, o uso dos recursos naturais se faz necessário para a produção dos diversos insumos que dão origem as edificações e as infraestruturas tão necessárias para o desenvolvimento da sociedade moderna. Desta forma, o crescimento da população mundial e o seu progresso tem estado atrelado a severos impactos ambientais ao planeta.

Alternativas para rever este cenário de impactos ambientais se fazem necessárias em todos os setores da sociedade e na construção civil não é diferente. Muitos estudos tem se produzido visando a substituição de materiais naturais por materiais alternativos e portanto, prolongando assim o ciclo de vida de alguns materiais. Desta forma, trabalhar em soluções de materiais para construção civil que permitam a proteção, conservação e prolongamento dos recursos naturais, a redução da poluição do ar e das águas, a economia de energia, e o aumento da vida útil dos aterros sanitários são fundamentais para o desenvolvimento da sociedade.

Dentre os diversos materiais alternativos tem-se os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). As rochas ornamentais são muito empregadas para execução de revestimentos de paredes e pisos, acabamento de pias, etc. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2009), um dos principais desafios do setor é o aproveitamento dos rejeitos oriundos da lavra e do beneficiamento destes minerais, uma vez que são gerados em grande quantidade. A produção mundial de rochas tem previsão de ultrapassar 400 milhões de toneladas em 2025. Segundo a Associação Brasileira da Industria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), em 2017, produziu-se no mundo cerca de 58 milhões de toneladas (Mt) de rochas ornamentais brutas e processadas, no Brasil.

A perda durante o processo de beneficiamento pode atingir até 70% da matéria-prima, para processamento simples (BRASIL, 2009). Segundo Campos et. al. (2014) nas serrarias, o resíduo gerado é da ordem de 40% do volume do bloco processado. Há perdas no processo de corte e serragem.

Considerando que uma característica desejável, de um resíduo a ser incorporado em argamassas a base de cimento Portland, é a sua atividade pozolânica, ou seja, ter a capacidade de se ligar e reagir com hidróxido de cálcio, e portanto, apresentar propriedade aglomerante.(ISAIA, 2007). Desta forma, o resíduo poderá substituir parte do cimento Portland empregado nas misturas, levando à redução dos valores energéticos para se produzir cimento. Materiais que tenham origem do calcário, como as rochas ornamentais, podem adquirir atividade pozolânica se queimado a altas temperaturas.

Os estudos de incorporação de resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil são bastante promissores. Sendo assim, este trabalho procura apresentar a caracterização físico-química de resíduo do processo de corte de rochas ornamentais gerado por marmoraria e a sua incorporação, após calcinação, em cimento Portland para a obtenção de argamassas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais utilizados e sua Caracterização

O resíduo de beneficiamento de rocha ornamentais – calcinado (RBRO-C), foi obtido na forma de uma lama do processo de corte das rochas ornamentais de uma marmoraria de Sorocaba – SP. Após secagem e moagem foi convertido em pó. Então, esse material foi queimado em mufla a 500°C e foi feita sua caracterização físico-química, através da espectroscopia no Infravermelho (FTIR), fluorescência de Raios X (FRX) e difração de Raios X.

Além do resíduo para a confecção das argamassas, foi utilizado cimento Portland CPII-Z-32, da Votorantim Cimentos (ABNT NBR 16697:2018) e areia fina de rio. Essa areia foi caracterizada pelos ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, conforme as normas NM248 (ABNT, 2001), NM 52 (ABNT, 2009), NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente.

As análises por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas utilizando-se um equipamento da marca Agilent Technologies, modelo Cary 630. As amostras foram submetidas a 32 varreduras, na faixa de número de onda de 4000cm⁻¹ a 650cm⁻¹, com resolução de 2cm⁻¹.

A avaliação da composição química elementar das amostras de resíduo foram obtidas por fluorescência de Raios X. Para isso foi utilizado um equipamento da Marca Rigaku, modelo Supermini 200, equipado com tubo de raio X, 50 kV e 15mA com potência de 750w. As amostras foram preparadas por meio da prensagem (prensa hidráulica) da amostra em pastilhas de 4 cm de diâmetro por 1,5cm de altura, utilizando como aglomerante ácido bórico na proporção de aproximadamente 30%, de forma a obter uma amostra compacta e homogênea.

A caracterização mineralógica do RBRO-C foi determinada por difração de raios X (DRX), através do difratômetro de raios X da Marca Rigaku, modelo MiniFlex 600, situado no Laboratório de Química do Centro Universitário Facens – Sorocaba. A fonte de operando com radiação de CuK α (=1,5418 Å), operando a uma tensão de 40 kV e corrente de 15 mA, no modo 2 Theta-Theta, na faixa de varredura de 5° a 85° e velocidade angular de 2°/min.

Confecção das argamassas e moldagem dos corpos de prova

As argamassas produzidas foram moldadas e curadas no Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro Universitário Facens, o LEMAT – Sorocaba-SP. conforme NBR 16541 (ABNT, 2016). Neste artigo os traços produzidos formam na proporção de 1:3 (cimento e areia) e, considerando que o objetivo foi substituir o cimento Portland nas porcentagens de 7,5%, 10% e 20% pelo RBRO-C, as misturas foram produzidas com o fator de relação entre água e o cimento (a/c) de 0,86 (traço referência, sem substituição); 0,93; 0,96 e 1,08, respectivamente.

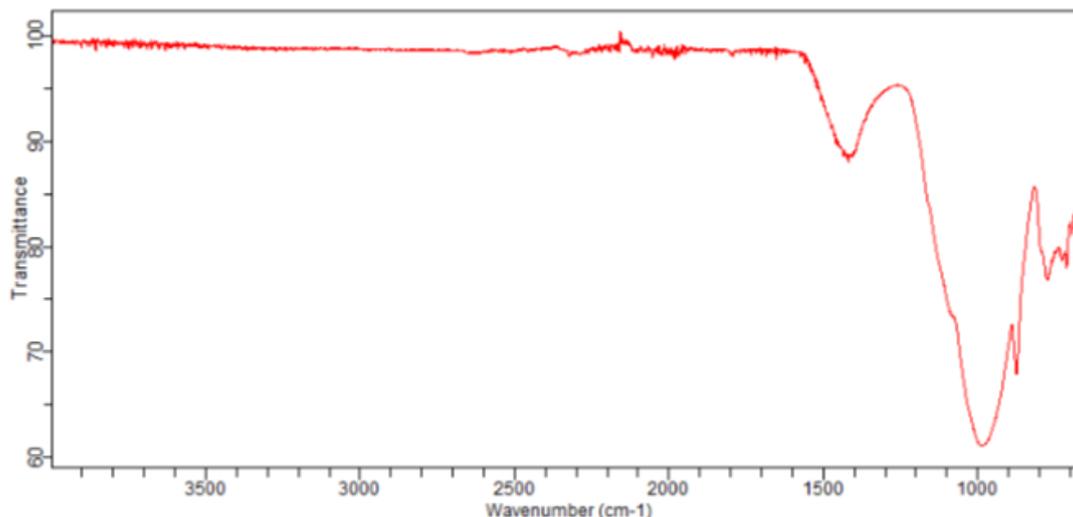
Foram moldados 6 corpos de prova de argamassa, para cada mistura, denominadas RCC_0%, RCC_7,5%, RCC_10% e RCC_20%. As fôrmas utilizadas são metálicas nas dimensões de 40x40x160mm. Após a moldagem serão determinadas as resistências à tração na flexão e à compressão, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), para as idades dos corpos de prova de 7, 14 e 28 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do RBRO-C

O resultado da análise do RBRO-C por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é apresentado na Figura 1. As transmitâncias em 900-1300 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento da ligação Si-O-Si do quartzo. As absorções ao redor de 1000 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento Si-O de silicatos presentes na amostra.

Figura 1. Resultado do ensaio de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do RBRO-C



Os teores de elementos químicos presentes na amostra do RBRO-C, determinados através do ensaio de fluorescência de raios-X, mostra que o elemento predominante no resíduo é o Si (39,1% m/m). Esse resultado corrobora o que se observa na análise por FTIR, onde se observam as ligações do sílico e oxigênio presentes na amostra. Por FRX, ainda se observa a presença de Ca (17,6%), Fe (13,5%), Al (8,46%), Na (6,64%), Cl (3,67%), Mg (2,38%) e Ti (1,86%) em massa. Pode-se observar a predominância do silício e do cálcio, na amostra, conforme esperado. Observa-se ainda, a presença de alta concentração de ferro, que pode ser atribuído a possível presença de material originário da equipamento de corte das peças de rochas ornamentais. Outros elementos foram identificados em porcentagens inferiores a 1% na amostra.

A análise mineralógica por DRX, mostra a presença de picos correspondentes ao quartzo (SiO_2), a albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), microclina (KAlSi_3O_8), illita ($3\text{K}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 26\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] e hematita (Fe_2O_3). Observa-se que a presença dos elementos silício, cálcio e ferro identificado no ensaio do FRX, apresentam a estrutura cristalina do quartzo, dolomita e hematita, respectivamente, conforme DRX.

Caracterização da areia

O diâmetro máximo da areia é 1,18mm e o módulo de finura de 1,59, valores obtidos pelo ensaio de granulometria. A massa específica real da areia é de 2,64 g/cm^3 e massa unitária estado solto e seco é 1,48 g/cm^3 , determinadas de acordo com as normas NBR NM 53 e NBR NM 45, respectivamente.

Resistência à tração na flexão e à compressão axial, para a idade de 7 dia

Nesta etapa da pesquisa serão apresentados apenas os resultados parciais de resistência à tração na flexão e à compressão axial, conforme a Tabela I.

Tabela I Resultados com 7 dias dos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão axial das argamassas produzidas (MPa)

| Traços | Média da resistência à tração na flexão (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | Média da resistência à compressão (MPa) | Desvio Padrão (MPa) |
|----------|---|---------------------|---|---------------------|
| RCC_0% | 3,95 | ± 0,07 | 9,47 | ± 0,59 |
| RCC_7,5% | 3,10 | ± 0,16 | 9,31 | ± 0,23 |
| RCC_10% | 2,99 | ± 0,16 | 8,58 | ± 0,31 |
| RCC_20% | 2,99 | ± 0,65 | 5,50 | ± 0,67 |

Os resultados da Tabela I, mostram que as medidas de resistência à tração na flexão, aos 7 dias de cura, com a incorporação do resíduo, é reduzida em relação ao traço de referencia. Porém, independente da concentração de resíduo, os valores são os mesmos dentro do erro experimental. Já as medidas de resistência à compressão, nota-se uma redução para a maior quantidade de resíduo incorporado. Destaca-se apenas que estes são resultados iniciais e é necessário realizar as medidas a 14 e 28 dias.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados parciais obtidos por meio dos ensaios de caracterização do RBRO-C, e dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão dos corpos de prova de argamassa, o uso do resíduo de rochas ornamentais como substituição parcial do cimento se mostrou promissor. Além disso o uso do resíduo é uma alternativa ambientalmente correta para a destinação final deste material, já que a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais produz uma enorme quantidade de resíduos, sendo descartados na maioria das vezes de forma inadequada.

Observando os resultados de resistência à tração, nota-se não haver variações significativas dos valores obtidos para o traço de referencia (RCC_0%) em comparação com demais traços produzido com o resíduo. Já para a resistência à compressão, observa-se uma leve queda que deverá ser melhor analisada nos resultados com 14 e 28 dias.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP e o Centro Universitário Facens que permitiram o desenvolvimento deste artigo e o apoio pleno para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- [1] CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE. **Cement Industry Energy and CO2 Performance: “Getting the Numbers Right”**. World Business Council for Sustainable Development, 2016. Disponível em: <http://www.wbcscement.org/pdf/GNR%20dox.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.
- [2] ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balço da produção, exportações, importações e consumo interno brasileiro de rochas brasileiras em 2015**. ABIROCHAS em Notícia/ABINEWS, out/dez de 2015.

- [3] BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Técnico 33: Rochas Ornamentais e de Revestimento. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.** Brasília, 2009.
- [4] CAMPOS, Ana Carolina; et al. **Avaliação do Desempenho de Concretos Obtidos com a Incorporação de Resíduos de Granito.** 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018, Foz do Iguaçu/PR.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009. [L]_{SEP}
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: **Agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006. [L]_{SEP}
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2016. [L]_{SEP}
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005. [L]_{SEP}
- [11] ALIABDO, A.A., ABD ELMOATY, ABD ELMOATY M., AUDA, E.,M., 2014. **Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete.** Constr. Build. Mater. 50, 28e41.
- [12] BARBOSA, Luiz Cláudio de Almeida. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos.** Viçosa: UFV, 2007.
- [13] CAMARGOS, Caio Soares; et al. **Substituição de Areia Padrão por Resíduo de Corte de Marmoraria em Argamassa.** 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018, Foz do Iguaçu/PR.
- [14] CAMPOS, Ana Carolina; et al. **Avaliação do Desempenho de Concretos Obtidos com a Incorporação de Resíduos de Granito.** 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018, Foz do Iguaçu/PR.
- [15] GONÇALVES, Jardel Pereira; MOURA, Washington Almeida; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto.** Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2002
- [16] ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712p.
- [17] JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção.** São Paulo, 2000.
- [18] SOLIMAN, N.M., 2013. **Effect of using marble powder in concrete mixes on the behavior and strength of R.C. slabs.** Int. J. Curr. Eng. Technol. ISSN: 2277-4106 3 (5), 1863e1870.

[19] TEIXEIRA, Fernando Ritiéle; PALIGA, Charlei Marcelo; TORRES, Ariela da Silva. **Resistência à compressão e absorção de água em concretos produzidos com substituição parcial do cimento pelo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.** 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 2018, Foz do Iguaçu/PR.

[20] VIDAL, Francisco W. H.; AZEVEDO, Hélio C. A.; CASTRO, Nuria F. (Eds). **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.700p.: il.