

ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM BLOCO PENSADO*

Alessandra Savazzini-Reis¹
Heloisa Faltz Pimentel²
Julia Diniz Silva³
Murilo da Rocha Dias³

Resumo

A indústria brasileira de rochas ornamentais apresenta uma elevada produção, que chegou a 9 milhões de toneladas em 2018 (ABIROCHAS, 2019) e grande parte das rochas são beneficiadas e exportadas no estado do Espírito Santo-BR. O beneficiamento gera grande volume de resíduos que podem causar danos ao meio ambiente quando dispostos de forma inadequada. O resíduo após secagem se torna um pó muito fino que pode preencher poros em materiais cimentícios e cerâmicos com potencial técnico de reutilização na construção civil. Nesse contexto, foi proposto o aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais em bloco prensado para uso em alvenaria. Foram feitas argamassas cimentícias com a substituição da areia por resíduo em teores de até 50% (massa) para moldagem dos blocos. Os resultados mostraram que no teor de 10% de resíduo, houve melhoria nas propriedades física e mecânica dos blocos.

Palavras-chave: Resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais; Bloco prensado; Filler.

ANALYSIS OF THE USE OF ORNAMENTAL STONE WASTE ON PRESSED BLOCK

Abstract

The Brazilian ornamental stone industry has a high production, which reached 9 million tons in 2018 (ABIROCHAS, 2019) and most of the stone are benefited and exported in the state of Espírito Santo-BR. Beneficiation generates a large volume of waste that can cause damage to the environment when improperly disposed. The waste after drying becomes a very fine powder that can fill pores in cementitious and ceramic materials with technical potential for reuse in construction. In this context, it was proposed the utilization of the waste of ornamental stone processing in pressed block for use in masonry. Cement mortars were made with the substitution of sand by waste in contents of up to 50% (mass) for molding blocks. The results showed that in the 10% waste content, there was improvement in the physical and mechanical properties of the blocks.

Keywords: Ornamental stone waste; Pressed block; Filler.

¹ Engenheira Civil, Doutora, professora, Coordenadoria de Edificações, IFES, Vitória, ES, Brasil.

² Aluna de Edificações, Coordenadoria de Edificações, IFES, Colatina, ES, Brasil.

³ Alunos de Arquitetura e Urbanismo, Coordenadoria de Arquitetura e Urbanismo, IFES, Colatina, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de rochas ornamentais no Brasil apresenta uma grande diversidade de rochas existentes e de produtos comercializados, tais como, granitos, mármore e quartzitos. A produção brasileira de rochas em 2018 foi de 9 milhões de toneladas, sendo que 2,2 milhões de toneladas foram exportadas para 120 países com 3 principais destinos EUA, China e Itália [1]. Acredita-se que a nova fronteira do setor brasileiro de rochas seja a exportação de produtos beneficiados e prontos para o uso, ao invés de blocos e chapas. Tal fato deve aumentar o volume de resíduo produzido, que em 2018 somou 3,26 milhões de toneladas, especialmente no estado do Espírito Santo, responsável por 72% do volume de rochas exportadas em 2018 [1]. Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos do setor de rochas na composição de novos materiais para atender a construção civil pode ser uma alternativa sustentável do ponto de vista ambiental a ser implantada pelas empresas. Com isso, a pesquisa propõe o aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais em bloco prensado para uso em alvenaria.

1.1 Resíduo de rochas ornamentais

No início da cadeia produtiva das rochas tem-se os rejeitos gerados nas jazidas, tais como, blocos fora do padrão ou com defeitos, lascas de rocha e casqueiros, que formam “estoques remanescentes”, se tornando passivos ambientais [2,4], que podem chegar a 60% do produto gerado [3].

No processo de beneficiamento é gerada a lama abrasiva no corte dos blocos em chapas e no polimento dessas, a qual representa cerca de 30% do volume original do bloco e que se torna o resíduo em questão. A lama é composta de pó da rocha e água quando o bloco é cortado no tear de fio diamantado; e acrescida de cal e granalha de aço quando cortado no tear de lâminas metálicas. Em função de suas características e dos métodos de disposição final, o resíduo pode ser responsável por causar danos principalmente ambientais [5-7] em especial após a secagem que o torna um pó muito fino, o qual pode alterar a turbidez em cursos d’água e causar a diminuição da permeabilidade do solo.

1.2 Utilização do resíduo de rochas ornamentais em materiais cimentícios

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais tem sido estudado em argamassas cimentícias [6,8-10]; argamassas colantes [11], concretos, ladrilho hidráulico, bloco cimentício e de concreto para alvenaria e piso intertravado [8,9,12-20], além de estudos em produtos cerâmicos [21-24]. As pesquisas confirmam a ação filer do resíduo, que colmata os poros na matriz do material aumentando densidade e resistência mecânica. Isso ocorre por meio da ação física de empacotamento granulométrico que o resíduo possui [25].

O resíduo foi usado na produção de blocos substituindo cimento [13] e areia [20]. Os resultados indicaram que a substituição de 10% de cimento e de 15% de areia em cada pesquisa promoveu melhoria na resistência mecânica. Foram produzidos ladrilhos hidráulicos com resíduo substituindo areia, a maior resistência mecânica e a menor absorção de água ocorreram nos teores de 20%[19] e 28%[8]. A substituição do cimento por resíduo em argamassa estudada nos teores de 10% e 20% promoveu perda de resistência à compressão [9,10], o que deve ser devido a falta de interação química entre resíduo e cimento Portland, que gera uma estrutura

porosa propensa a surgir trincas e imperfeições [10]. A incorporação do resíduo foi testada em concreto de fck 25 MPa, os resultados mostraram que é viável o uso do resíduo em até 10% [16]. O resíduo substituiu a argamassa colante AC-I nos teores 10% e 20% promovendo aumento da resistência mecânica atribuída à melhora do empacotamento das partículas expressa pelo aumento da densidade [11].

1.3 Bloco prensado

Os formatos padronizados do bloco prensado e seu tipo de encaixe facilitam o alinhamento e posicionamento das paredes [26] e a racionalização do serviço [27], o que resulta em menor desperdício e menor custo nos serviços de alvenaria, esquadrias, revestimento, impermeabilização, instalações. O bloco contribui para o conforto térmico e acústico do ambiente devido aos furos que possui; possibilita maior limpeza da obra devido à economia no uso de argamassa de assentamento; e gera menor volume de entulho ao passar as instalações elétricas e hidrossanitárias nos furos dos blocos [28]; além disso, não necessita de queima na sua produção contribuindo positivamente para o meio ambiente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRA), apresentado na Figura 1, foi coletado em indústria de beneficiamento de rochas ornamentais situada em Serra-ES em pilha de descarga do filtro prensa, equipamento utilizado para diminuir a umidade do resíduo.



Figura 1. Resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

2.2 Caracterização dos materiais

A caracterização da areia natural de rio e do cimento Portland CPIII 40 RS foi feita conforme as Normas da ABNT e os resultados obtidos (Tabela 1) mostram que os materiais usados se apresentam de acordo com as prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT para uso em argamassa cimentícia para a moldagem do bloco.

Tabela 1. Ensaio de caracterização dos materiais

Material	Ensaio	Norma	Resultado
Areia	Granulometria	NBR NM 248/2003 [29]	MF=2,43 DMC=2,36mm
	Massa específica	NBR 9776/1987 [30]	2,63 g/cm ³
	Massa unitária	NBR NM 45/2006 [31]	1,57 kg/dm ³
Cimento Portland CIII	Finura #200	NBR 11579/2012 [32]	0,18%
	Massa específica	NBR 16605/2017 [33]	3,06 g/cm ³
	Consistência normal	NBR 16606/2017 [34]	34%
	Área específica	NBR 16372/2015[35]	400 m ² /kg
RBRA	Granulometria	NBR NM 248/2003 [29]	DMC=0,30mm
	Massa específica	NBR 16605/2017 [33]	2,77 g/cm ³
	Massa unitária	NBR NM 45/2006 [31]	0,95 Kg/dm ³
	Área específica	NBR 16372/2015[35]	494,2 m ² /kg

Nota: MF=módulo de finura; DMC=dimensão máxima característica; RBRA=resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais

O resultado da distribuição granulométrica do resíduo, obtida mediante peneiramento mostra que ele possui 83% de partículas menores que 0,075 mm, confirmando se tratar de um material pulverulento de elevada finura, a qual é representada pela área específica do resíduo, que foi de 494,2 m²/kg, maior que a do cimento utilizado de 400,0 m²/kg.

2.3 Moldagem do bloco

O traço comumente usado em argamassas de 1:3 (cimento:areia) foi adotado como referência para fabricação do bloco (Figura 2) com relação água cimento (a/c) inicial de 0,40. Os materiais foram dosados e homogeneizados e após isso foram levados à prensa manual para moldagem dos blocos de cada traço, levando em conta a substituição da areia por resíduo nos teores 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% (massa).

**Figura 2.** Bloco prensado

A Tabela 2 apresenta as dosagens dos blocos com a substituição de areia pelo resíduo.

Tabela 2. Dosagem do bloco (massa)

Teor de resíduo (%)	cimento	areia	resíduo	água
0	1,0	3,0	0	0,40
10	1,0	2,7	0,3	0,40
20	1,0	2,4	0,6	0,40
30	1,0	2,1	0,9	0,44
40	1,0	1,8	1,2	0,44
50	1,0	1,5	1,5	0,44

2.4 Avaliação da resistência à compressão do bloco

O ensaio de resistência à compressão dos blocos foi executado em prensa hidráulica manual marca Contenco com capacidade de 120000 Kgf em sete blocos para cada dosagem, seguindo o procedimento da NBR 8492/2012 [36]. A resistência foi calculada segundo a Equação 1:

$$\sigma \text{ (MPa)} = \frac{F}{(L \times C)} \quad (1)$$

Onde: σ = resistência à compressão (MPa); F = força aplicada pela prensa (N); L = largura do bloco (mm); C = comprimento do bloco (mm).

A Figura 3 apresenta um bloco na prensa para avaliação da resistência à compressão.



Figura 3. Bloco na prensa

2.5 Avaliação da absorção de água do bloco

Foi feita a determinação da absorção de água em três blocos para cada dosagem seguindo o prescrito na NBR 8492/2012 [36]. A absorção de água foi calculada de acordo com a Equação 2:

$$ABS = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde: ABS = absorção de água (%); m_2 = massa saturada superfície seca (g); m_1 = massa seca em estufa a temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ (g).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da resistência à compressão do bloco

Os valores médios obtidos da resistência à compressão dos blocos são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o maior valor de resistência à compressão foi obtido com o teor de resíduo de 10%.

Tabela 3. Resistência à compressão dos blocos

Teor de resíduo (%)	$\sigma \pm DP$ (MPa)
0	5,63±0,99
10	8,27±0,88
20	7,70±0,85
30	6,69±1,73
40	5,72±0,57
50	4,58±0,77

Nota: σ =Resistência à compressão; DP=desvio padrão

3.2 Avaliação da absorção de água do bloco

Os resultados da avaliação da absorção de água nos blocos estão apresentados na Tabela 4. Corroborando o valor encontrado na resistência à compressão, foi obtido o menor valor de absorção de água no teor de resíduo de 10%.

Tabela 4. Absorção de água dos blocos

Teor de resíduo (%)	ABS $\pm DP$ (%)
0	15,88±0,82
10	14,33±1,53
20	15,65±2,28
30	17,39±0,69
40	19,76±1,77
50	23,19±0,76

ABS=absorção de água; DP=desvio padrão

Como pode ser visto nas Tabelas 3 e 4, o maior valor de resistência à compressão e o menor valor de absorção de água foram medidos nos blocos com teor de 10% de resíduo, indicando uma maior densidade em relação aos blocos sem resíduo. Em 10%, o resíduo de beneficiamento de rocha deve ter promovido o preenchimento dos poros vazios como um filler, resultando em um melhor empacotamento físico consequentemente maior compacidade de mistura, que resultou em maior resistência mecânica do bloco, tal comportamento do resíduo também foi observado quando inserido em até 15% em blocos cimentícios de vedação [37]. O maior valor de resistência à compressão em pisos intertravados também ocorreu em 10% de resíduo [20]. A partir de 10% é provável que o aumento do teor de finos na argamassa do bloco promovido pelo resíduo não contribua mais para aumentar a compacidade em função da finura do resíduo ser maior que da areia substituída, o que proporciona excesso de finos e aumento da absorção de água, além de demandar maior quantidade de água para mistura, o que aumenta os poros. O excesso de finos também pode comprometer a trabalhabilidade do concreto, assim o teor de adição de resíduo não deve ser elevado, podendo chegar a 10% [16,38].

Apesar disso, nos blocos moldados com teores de resíduo de até 50%, a resistência atendeu ao valor mínimo de 2,0 MPa para blocos de vedação estipulado na NBR 8491/2012 [39]; e em até 40% de resíduo, o teor máximo de absorção de água de 20% [39] foi atendido.

4 CONCLUSÃO

O resíduo apresenta uma distribuição granulométrica adequada para ser usado como um filler na matriz cimentícia de moldagem do bloco. O resíduo contribuiu na melhoria da resistência mecânica e diminuição da absorção de água dos blocos analisados em até 10% de substituição da areia. Com isso, o uso do resíduo de beneficiamento de rochas como matéria-prima do bloco prensado pode ser uma alternativa tecnicamente viável.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS). Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2018. Informe 01/2019. São Paulo. 2019.
- 2 Sardou FR, Matos GMM, Mendes VA, Iza ERHF. Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo – Escala 1:400.000. Brasília DF, CPRM. 2013:1-358. ISBN: 978-85-7499-189-4.
- 3 Zagoto JT. Estudo do rejeito da lavra de rochas ornamentais do Espírito Santo para a produção de brita. 2016. 62f. [Dissertação]. Unipampa, Caçapava do Sul-RS.
- 4 Vidal FV, Azevedo HCA, Castro NF. Tecnologia de rochas ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI; 2014.
- 5 Magacho I, Silva RB, Braga FS, Prezotti JCS. Identificação e gerenciamento dos resíduos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais. XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Uruguai, 2006:1-9.
- 6 Reis AS, Tristão FA. Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais. II Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa-Portugal: APFAC; 2007.
- 7 Souza DV, Vidal FWH, Castro N F. Estudo Comparativo da Utilização de Teares Multilâmina e Multifio no Beneficiamento de Granitos Comerciais. XX Jornada de Iniciação Científica, Rio de Janeiro: CETEM; 2012:1-4.
- 8 Reis AS, Tristão FA. Tactile-floor tile hydraulic with addition residue improvement dimension stones. IBRACON Structures and Materials Journal. 2010; 3(4):390-419.
- 9 Oliveira DM, Oliveira TN, Bezerra ACS, Gomes VJ, Peixoto RAF. Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias, 53º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis-SC, IBRACON, 2011:1-13.
- 10 Mendonça AMGD, Sousa LMC, Neto VFS, Silva CV, Silva JB. Reutilização de resíduos de rochas ornamentais. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campo Grande-MS. 2017. [acesso em 10 abr. 2019]. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/VII-042.pdf>
- 11 Silva LS, Nogueira MHP, Lima GKM, Cipriano FS, Batista NJS. Incorporação de resíduos de polimento de placas de mármore e granito em argamassas colantes industrializadas AC-I. Revista de Ciencia e Tecnologia - UFRR. 2018. 4(7). ISSN2447-7028.
- 12 Calmon JL, Tristão FA, Lordêllo FSS, Da Silva SAC, Mattos FV. Aproveitamento do resíduo do corte de granito para produção de argamassas de assentamento. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. Salvador-BA: ANTAC, 1997:64-75.
- 13 Moura WA, Lima MBL, Calmon JL, Moratti M, Santos Souza FL. Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. XI

- Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis-SC: ENTAC; 2006:4227-4236.
- 14 Apolinário ECA, Santos GRS, Ribeiro DV. Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades das argamassas de cimento Portland e industrializada no estado aplicado. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. 2013;9(1):123-140.
 - 15 Roque AB, Campos RN, Santos HMC, Moura WA. Utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais como agregado miúdo, em concreto. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió-AL: ENTAC. 2014:2583-2591.
 - 16 Silva LTMS, Severo CGS, Bezerra UA. Utilização do resíduo de granito como substituição parcial do cimento na produção de concreto. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia-CONTECC. Fortaleza-CE, 2015.
 - 17 Andrade TS, Fernandes FF, Neto JCM. Estudo da produção do bloco de concreto para a vedação contendo substituição parcial da areia por resíduo gerado no corte de granito e mármore (RCGM). 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Águas de Lindoia-SP: ABCERAM; 2016; 2132-2143.
 - 18 Lima WBC, Lira HL, Neves GA. Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição. Revista eletrônica de Materiais e Processos. 2016; 11(2):89-95.
 - 19 Savazzini-Reis A, Andrade DM. Avaliação experimental do aproveitamento de resíduo de granito em ladrilho hidráulico vibrado. 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires – Sustentabilidade Urbana. Vila Velha-ES. 2018; 2105-2113. ISBN 978-989-20-8422-0
 - 20 Colnago ATS, Oliveira EF, Merlo KB. Produção de pisos intertravados tipo pavieess com utilização de resíduo de mármore e granito. Revista eletrônica de engenharia civil (REEC). 2018; 14(2):96-109.
 - 21 Souza AJ, Pinheiro BCA, Holanda JNF. Efeito da adição de resíduo de rocha ornamental nas propriedades tecnológicas e microestrutura de piso cerâmico vitrificado. Revista Cerâmica. 2011; 57:212-218.
 - 22 Ferreira LC. Potencial de utilização de resíduos industriais na formulação de massa de cerâmica vermelha para a fabricação de blocos de vedação. 2012. 76f. [Dissertação]. UFPR- Paraná.
 - 23 Reis AS, Sagrillo VPD, Valenzuela-Diaz FR. Influência da adição de resíduo de granito em massa argilosa usada na produção de telhas cerâmicas. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT. 2014, Cuiabá: Metallum.
 - 24 Bildhauer DC, Bruxel FR, Santana ERR, Oliveira EC. Tijolos maciços com características refratárias a partir da incorporação de resíduo de mármore e granito. Revista Liberato. 2015;16(25):73-83.
 - 25 Neville AM. Propriedades do Concreto. Tradução: Salvador E. Giammusso. 2ª edição. São Paulo: PINI; 1997.
 - 26 Raad HJ, Martins CJ. Alvenaria modular: concepção de um novo sistema construtivo visando aumento da produtividade. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre-RS: ABEPRO. 2005.
 - 27 Silva RC, Gonçalves NO, Alvarenga RCSS. Alvenaria racionalizada. Revista Téchné. 2006; 112(14).
 - 28 Rodrigues J. O tijolo ecológico e o sistema Construtivo modular. Manual informativo ilustrado. Sahara, São Paulo, 2001. [acesso em 10 abri 2019].Disponível em: http://www.sahara.com.br/index.php?m=menu_home& action=catalogo.
 - 29 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
 - 30 _____. NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
 - 31 _____. NBR NM 45/2006: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios em agregados. Rio de Janeiro, 2006.
 - 32 _____. NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

- 33 _____ . NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- 34 _____ . NBR 16606: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2017.
- 35 _____ . NBR 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.
- 36 _____ . NBR 8491: Tijolo de solo cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- 37 Moura WA, Leite MB. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. Revista Escola de Minas. Ouro Preto-MG. 2011;64(2):147-154.
- 38 Alves, MS. Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos. 2008.131 f. [Dissertação] UFMG, Belo Horizonte.
- 39 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8492: Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.