

CAPÍTULO 26

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE MARMORARIA COM FIXAÇÃO DA TRABALHABILIDADE PELO USO DE ADITIVOS PLASTIFICANTE

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081126

ALMADA, BRUNA S.[1]; SANTOS, WHITE J.[1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: BRUNAALMADA@UFMG.BR

RESUMO: Estudou-se o efeito da substituição de cimento por 20% de resíduo de mármore e granito (RMG) em diferentes fatores água/cimento (a/c), fixando-se a trabalhabilidade com uso de aditivo plastificante. Confeccionaram-se argamassas com e sem aditivo plastificante, avaliando a trabalhabilidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico e absorção de água por capilaridade. Observou-se maior influência do resíduo em relações a/c mais baixas, refinando a estrutura porosa, devido ao efeito filer. A resistência à compressão foi elevada no menor fator a/c e não houve influência representativa no módulo de elasticidade das argamassas.

PALAVRAS-CHAVES: Resíduo de marmore e granito, aproveitamento de resíduo, compósitos cimentícios.

ABSTRACT: The effect of replacing cement by 20% marble and granite waste (MGW) in different water/cement factors (w/c) was studied, fixing the workability with the use of plasticizer additive. Mortars were made with and without plasticizer additive, evaluating the workability, compressive strength, dynamic modulus of elasticity and capillary water absorption. There was a greater influence of the waste at lower w/c ratios, refining the porous structure, due to the filer effect. The compressive strength was high at the lowest w/c ratio and there was no representative influence on the modulus of elasticity of the mortars.

KEYWORDS: Marble and granite waste, waste reuse, cementitious composites.

1 | INSTRUÇÕES GERAIS

A indústria da construção civil é uma das principais consumidoras de recursos naturais e geradoras de resíduos que podem causar grandes impactos ambientais. Dessa forma, a utilização de materiais alternativos pode contribuir para o desenvolvimento sustentável, reduzindo a degradação ambiental provocada pelos resíduos e prolongando as reservas de materiais naturais. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento(1), de janeiro de 2017 a fevereiro de 2018, o Brasil produziu quase 54 milhões de toneladas de cimento, contribuindo negativamente com a emissão de CO_2 na atmosfera. Aliado a isto, ressalta-se que o país ocupa posição de destaque na produção de rochas ornamentais, cujo processo de extração e beneficiamento gera grande volume de resíduos, estimado em cerca de 20 a 30% da matéria prima(2-3). Durante o processo de corte a úmido, as chapas de rochas ornamentais, como granito e mármore, sofrem desgaste, o que resulta na formação de uma lama acinzentada, também chamada de

lama abrasiva e que, quando seca, gera um resíduo em pó fino. Os principais impactos gerados pela disposição inadequada dessa lama a contaminação do solo e do lençol freático, alteração da cadeia biológica de seres vivos e assoreamento de rios[2,4].

Nesse contexto, muitos estudos têm sido realizados buscando o reaproveitamento do resíduo de mármore e granito (RMG) em compósitos cimentícios. Esses estudos mostram que o RMG não apresenta, ou apresenta muito baixa atividade pozolânica, mas pode atuar como filer, melhorando algumas propriedades dos compósitos[2, 4-5]. Portanto, por ser constituído de pó de pedra fino, o RMG apresenta potencial de utilização como substituinte parcial do cimento, sendo uma alternativa de reinserção do resíduo na produção de outro produto. Para que sua utilização seja feita de forma eficiente, deve-se estudar a influência da quantidade de água na mistura, definindo-se, assim, fatores a/c adequados, que proporcionarão melhor desempenho mecânico e durabilidade de compósitos cimentícios com a introdução de RMG. O objetivo geral deste trabalho é a avaliação, em laboratório, do efeito da substituição de cimento por resíduo de mármore e granito em diferentes fatores a/c, fixando a trabalhabilidade através do uso de aditivo plastificante.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram produzidos quatro tipos de argamassas: duas de referência, com e sem aditivo plastificante (REF-P e REF, respectivamente) e duas com substituição de 20% do cimento por resíduo de mármore e granito, com e sem aditivo plastificante (RMG-P e RMG, respectivamente). Foi utilizado cimento Portland CPI (disponibilizado por uma cimenteira), por não conter adições, permitindo uma melhor avaliação da influência do RMG como substituinte do cimento; areia padrão normal, fornecida pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo e aditivo redutor de água do tipo plastificante multifuncional de pega normal, Muraplast FK 97 MC Bauchemie. O resíduo coletado na forma de lama é oriundo do beneficiamento à úmido de chapas de rochas ornamentais em uma marmoraria localizada na região Norte de Belo Horizonte/MG. Essa lama foi levada à estufa na temperatura de 105± 5°C para desidratação completa, até constância de massa. Após a secagem, a amostra foi destorroada manualmente e passada em peneira de abertura de 75 µm. O resíduo foi caracterizado quanto a composição granulométrica, por granulometria à laser, massa específica por picnômetro à hélio e composição química por fluorescência de raios-X (FRX).

Após a caracterização dos materiais, foram moldadas as argamassas para avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido: trabalhabilidade[6], absorção de água por capilaridade[7], porosidade[8], resistência à compressão[9]e módulo de elasticidade[10] aos 28 dias. Em todos os casos, a relação entre o material aglomerante e a areia foi de 1:3, em massa, conforme consumo de materiais apresentado na Tabela 1. Para as argamassas sem aditivo plastificante, foi definido o fator água/cimento de 0,50 e, para as argamassas contendo o aditivo, fixou-se o teor do plastificante em 1% em relação a massa de aglomerante, valor máximo permitido pelo fabricante. A dosagem da quantidade de água foi realizada, então, fixando-se o índice de consistência em 173 ± 10 mm, valor de espalhamento obtido pela amostra de referência (REF).

ID	Cimento (kg/m³)	Resíduo (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Água (kg/m³)	Aditivo (kg/m³)	Relação a/c
REF	509,08	-	1527,25	254,54	-	0,500
REF - P	520,35	-	1561,05	233,64	5,20	0,449
RMG	404,63	101,16	1517,36	252,89	-	0,500
RMG - P	415,89	103,97	1559,58	227,70	5,20	0,438

Tabela 1 - Consumo de materiais por m³ de argamassa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do RMG

No ensaio para determinação da massa específica obteve-se como resultado 2,67 g/cm³, valor dentro dos que é observado em estudos anteriores[2,4,5]. Os resultados da composição química do RMG, apresentados na Tabela 2Tabela , demonstram que, diferentemente do cimento, o resíduo é composto principalmente por SiO_2, apresentando menor quantidade de CaO. Isso mostra que o RMG coletado advém do beneficiamento de um número maior de rochas do tipo granito[2].

FeO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	MnO	PF
1,67	42,80	8,07	2,63	19,00	3,89	0,69	0,33	1,85	2,59	0,04	17,40

PF – Perda ao fogo.

Tabela 2 - Composição química do RMG (%).

Quanto à composição granulométrica, apresentada na Figura 1, observa-se que D_{90} = 41,7 µm e D_{50} = 12,0 µm, indicando que o resíduo pode atuar como filer. Conforme afirma Almada[2], as partículas do RMG nessa faixa granulométrica podem contribuir com uma maior superfície disponível para hidratação, atuando como pontos de nucleação para os grãos de cimento, além de favorecerem o empacotamento.

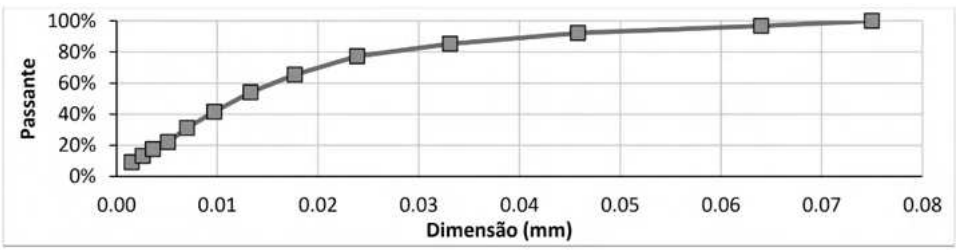


Figura 1 - Composição granulométrica do RMG.

3.2 Índice de consistência

Os resultados do ensaio de índice de consistência são apresentados na Figura 2, bem como as relações água/cimento obtidas para cada argamassa.

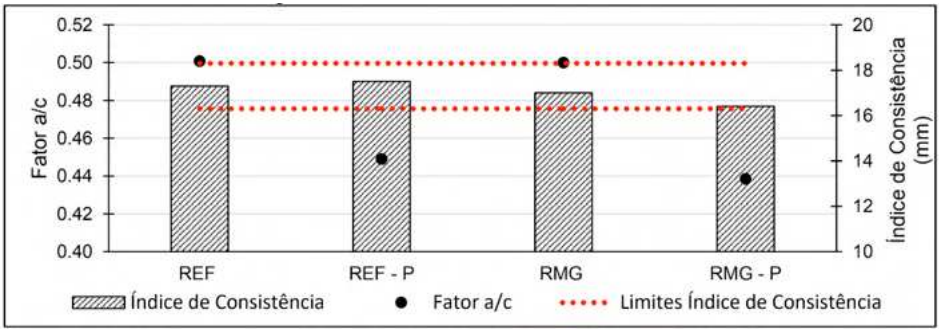


Figura 2 - Resultado do índice de consistência.

Observa-se que a introdução do plastificante permitiu uma redução no fator a/c de 10,20% para a mistura sem resíduo e de 12,20% para a mistura com resíduo. Comparando-se as argamassas REF e RMG, é possível perceber que a introdução do RMG afeta muito pouco a trabalhabilidade, conforme já observado na literatura[2,4,11], apresentando redução do espalhamento de somente 1,73%. Nas amostras contendo aditivo (REF-P e RMG-P), os resíduos mostraram possibilitar a manutenção da trabalhabilidade com baixo fator a/c, com possível tendência de se aumentar a demanda de água, devido à redução do índice de consistência em 6,28%.

3.3 Absorção de água por capilaridade e porosidade

A Figura 3 apresenta os resultados da absorção por capilaridade (Ac) e a variação da absorção de cada amostra em relação à argamassa REF (Δ), calculada pela diferença entre os resultados em cada tempo. Apesar das modificações das composições, a menor absorção por capilaridade final foi obtida para a argamassa de referência. Entretanto, as argamassas com aditivo resultaram em um aumento de absorção final de 22,28% para a amostra REF-P e de 12,15% para a amostra RMG-P, enquanto para a amostra RMG esse aumento foi de 53,16%.

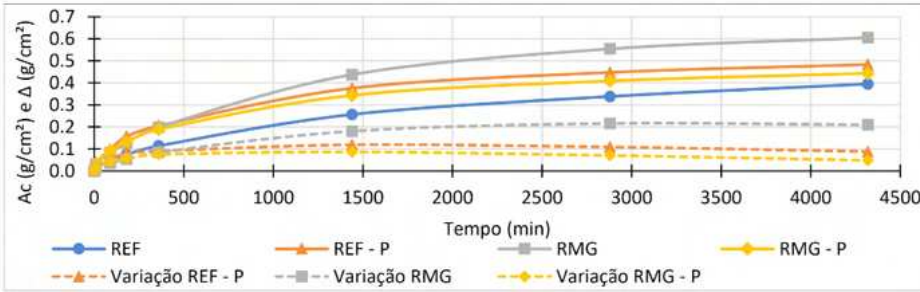


Figura 3 - Resultado da absorção de água por capilaridade (Ac) e taxa de variação (Δ).

Nota-se que, nos minutos iniciais, a variação da absorção das argamassas com plastificante em relação à argamassa REF é superior à da argamassa RMG, indicando que o aditivo propiciou uma mistura mais compacta e um refinamento dos poros, que facilita a absorção de água por capilaridade. Além disso, o uso do aditivo diminui a quantidade de água na mistura, o que reduz, consequentemente, a porosidade. Entretanto, após 360 minutos, há uma inversão de comportamento da variação da absorção, que passa a ser maior para a argamassa RMG, sugerindo um maior número de poros interligados nessa argamassa. Comparando-se as amostras REF-P e RMG-P, observa-se que a substituição do cimento pelo resíduo resultou em uma menor absorção de água, o que se deve ao melhor empacotamento e à menor relação a/c. Portanto, tanto o resíduo como o aditivo plastificante foram responsáveis pela compactação da microestrutura porosa.

Pela análise da porosidade (Figura 4) é possível notar que não houve alterações representativas entre as amostras REF e RMG e as amostras REF-P e RMG-P. Esse resultado indica que, as influências do resíduo e do plastificante estão mais associadas à forma, tamanho, distribuição e conectividade dos poros na microestrutura do que ao volume total destes. Para a relação a/c utilizada, a substituição de 20% do cimento pelo resíduo de mármore e granito não é benéfica em relação à permeabilidade dos compósitos cimentícios, como mostra a Figura 3. Dessa forma, os resultados sugerem que a amostra REF possui menor número de poros capilares comunicantes, mas grande volume de vazios, enquanto a amostra RMG possui estrutura mais refinada, ainda que de porosidade semelhante. Além disso, as amostras REF-P e RMG-P apresentam menor quantidade e dimensão de poros.

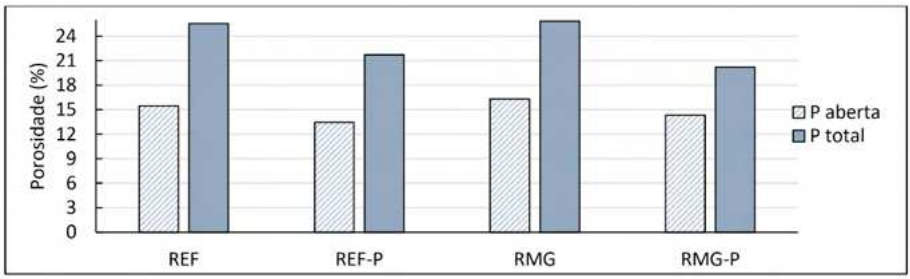


Figura 4 - Resultado da porosidade (P).

3.4 Módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão

Os resultados do ensaio de módulo de elasticidade são apresentados na Figura 5 (a) e os resultados de resistência à compressão na Figura 5 (b).

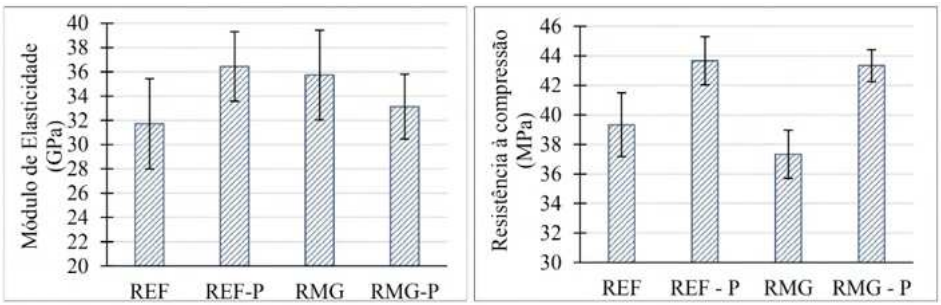


Figura 5 – (a) módulo de elasticidade dinâmico (b) resistência à compressão aos 28 dias.

Considerando-se o valor médio dos resultados do módulo de elasticidade, observa-se um aumento em relação à mistura de referência de 14,88% e 4,44% paras as argamassas REF-P e RMG-P, respectivamente, o que se deve, principalmente, à redução da porosidade. Já a argamassa RMG, embora tenha porosidade próxima à REF, apresentou aumento de 12,64%. Portanto, pode-se inferir que o resíduo levou a uma estrutura porosa mais homogênea, resultando em uma argamassa mais íntegra, com menor propensão às falhas internas.

Na Figura 5 (b) observa-se que as maiores resistências mecânicas foram alcançadas pelas argamassas contendo aditivo, devido à redução do fator a/c. O ganho de resistência, em relação à argamassa REF, foi de 11,19% e 10,18% para REF-P e RMG-P, respectivamente. Apesar de ter menor relação a/c, a argamassa RMG-P não obteve resultado superior à REF-P, provavelmente devido à redução dos componentes responsáveis pela resistência mecânica do compósito, ao substituir o cimento pelo resíduo de mármore e granito (material inerte), conforme apontam estudos[2,11-14]. Comparando-se as argamassas contendo resíduo (RMG e RMG-P), a redução da quantidade de água e a melhor empacotamento de partículas na argamassa RMG-P, resultou em um compósito mais compacto, com melhor estrutura porosa, promovendo ganho de resistência de 16,08%.

4 | CONCLUSÕES

Após as avaliações experimentais, pode-se concluir que a inserção do resíduo e do aditivo plastificante permitiram a manutenção da trabalhabilidade com uma maior redução da quantidade de água e promoveu um refinamento dos poros. Não houve influência representativa no módulo de elasticidade, entretanto, a inserção do resíduo, aparentemente, tornou a estrutura mais homogênea e, na resistência à compressão, a substituição do cimento pelo resíduo não foi benéfica no maior fator a/c.

A utilização do plastificante e do resíduo gerou uma argamassa compacta, permitindo uma compensação da redução do teor de cimento. De forma geral, observa-se que o resíduo é mais eficiente em relações água/cimento mais baixas e sua utilização como filer, promove melhor empacotamento de partículas, contribuindo positivamente para a maioria das propriedades, além de auxiliar a busca por materiais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

1. ABIROCHAS. O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais, julho de 2018. Disponível em: http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Cenario_Mundial_2017.pdf. Acesso em: 25/09/18.

2. Almada, B.S.; Luciane, S.M.; Dutra, J.B.; Bubani, L.C.; Silva, G.J.B.; Santos, W.J.; Aguilar, M.T.P. Influence of the heterogeneity of waste from wet processing of ornamental stones on the performance of Portland cement composites, **Construction and Building Materials**, V. 262, 2020.

3. ALIABDO A.A., ELMOATY A.M., AUDA E. M., Re-Use of Waste Marble Dust in the Production of Cement and Concrete. **Construction and Building Materials**, no 50 p. 28–41, 2014.

4. AREL S. H., Recyclability of Waste Marble in Concrete Production**. Journal of Cleaner Production**. v.131, 179-188, 2016.

5. MEDINA G., BOSQUE I. F. S. del, FRÍAS M. ROJAS M. I. S., MEDINA C., Granite quarry waste as a future eco-efficient supplementary cementitious material (SCM): scientific and technical considerations, **Journal of Cleaner Production**., v. 148, p. 467-476, 2017.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 2016.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, Rio de Janeiro, 2005.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2005.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 9779**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 2012.

10. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C215: **Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens.** Pennsylvania, p. 7. 2008.

11. BUYUKSAGIS I.S., UYGUNOGLU T., TATAR E., Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar, **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 734-742, 2017.

12. LEI L., PLANK J., Synthesis, working mechanism and effectiveness of a novel cycloaliphatic superplasticizer for concrete. **Cement and Concrete Research**, 2012.

13. SADEK D.M., EL-ATTAR M.M., ALI H.A., Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development, **Journal of Cleaner Production**, v.121, p. 19-32, 2016.

14. VARDHAN K., GOYAL S., SIDDIQUE R., SINGH M., Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement, **Construction and Building Materials**, v. 96, p. 615–621, 2015.