

CAPÍTULO 25

ANÁLISE DA DURABILIDADE DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE MARMORARIA EM DIFERENTES FATORES ÁGUA CIMENTO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081125

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

RESUMO: Avaliou-se a durabilidade de argamassas estruturais com a substituição de cimento por Resíduo de Mármore e Granito (RMG), em diferentes fatores a/c, fixando-se a trabalhabilidade com uso de aditivo plastificante. Estudou-se a absorção por imersão, porosidade, resistência à compressão, resistividade elétrica e carbonatação acelerada. Constatou-se que o resíduo e o aditivo plastificante promoveram um refinamento da estrutura, aumento do coeficiente de capilaridade e ganho de resistividade elétrica. Contudo, a redução da alcalinidade ocorrida pela substituição do cimento por um material inerte foi prejudicial à resistência à carbonatação.

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

ABSTRACT: The durability of structural mortars was evaluated with the replacement of cement by Marble and Granite Waste (MGW), in different w/c factors, fixing the workability with the use of a plasticizer additive. Absorption by immersion, porosity, compressive strength, electrical resistivity and accelerated carbonation were studied. It was found that the residue and the plasticizer additive promoted a refinement of the structure, increased capillary coefficient and gain in electrical resistivity. However, the reduction in alkalinity caused by the replacement of cement by an inert material was detrimental to its resistance to carbonation.

KEYWORDS: Marble and granite residue, durability, cementitious composites.

1 | INSTRUÇÕES GERAIS

O setor de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais tem apresentando crescimento, tendo em vista as diversas aplicações dos materiais. Nesse contexto, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais. Segundo o Boletim Informativo da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais(1) o Brasil é o terceiro maior exportador mundial de ardósia e o segundo maior exportador de blocos de granito. Apesar disso, o setor também está associado a uma problemática ambiental, devido à geração de resíduos durante o processo de extração e beneficiamento das rochas ornamentais, que é estimada em cerca de 20 a 30% da matéria prima(2). Por outro lado, a indústria da construção civil é uma das principais consumidoras de subprodutos industriais, utilizando materiais alternativos na produção de compósitos e contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, muitos estudos têm sido realizados buscando o reaproveitamento do resíduo de mármore e granito (RMG) em compósitos cimentícios, indicando que este material

apresenta muito baixa atividade pozolânica, mas pode atuar como filer, melhorando algumas propriedades dos compósitos[2,3]. Portanto, por ser constituído de pó de pedra fino, o RMG apresenta potencial de utilização como substituinte parcial do cimento.

A busca por materiais mais duráveis está comumente ligada a estudos com a redução do fator a/c, pois este afeta a porosidade e permeabilidade de concretos e argamassas, determinando sua microestrutura, distribuição e forma dos poros[4,5]. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é a avaliação do efeito da substituição de cimento por RMG, em indicadores de durabilidade de argamassas em diferentes fatores a/c, fixando-se a trabalhabilidade através do uso de aditivo plastificante.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, foram produzidas duas argamassas de referência, com e sem aditivo plastificante (REF-P e REF) e duas argamassas contendo 20% de RMG como substituinte parcial do cimento, com e sem aditivo (RMG-P e RMG). Foi utilizado cimento Portland CPI, 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, destorroada manualmente e passada em peneira de abertura de 75 µm. A amostra de RMG apresentou massa específica de 2,67 g/cm³, valor próximo ao observado em estudos anteriores[2,3]. A composição química do RMG, demonstrou que o resíduo é composto principalmente por SiO_2, apresentando menor quantidade de CaO, o que demostra que este RMG advém, principalmente, do beneficiamento de rochas graníticas[2]. A composição granulométrica apresentou D_{90} = 41,7 µm e D_{50} = 12,0 µm, o que indica que o resíduo pode atuar como filer.

Após a caracterização dos materiais, foram moldadas as argamassas, tendo como relação entre o material aglomerante e a areia 1:3, conforme consumo de materiais apresentado na Tabela 1. Em análises prévias, observou-se que a introdução do RMG afetou pouco a trabalhabilidade. Assim, para a dosagem das argamassas sem aditivo plastificante, foi definido o fator água/cimento de 0,50. E, para as argamassas contendo o aditivo, fixaram-se o teor do plastificante em 1% em relação a massa de aglomerante - valor máximo permitido pelo fabricante - e o índice de consistência obtido nas amostras de referência (173 ± 10 mm), dosando-se a quantidade de água. Observou-se que o aditivo foi levemente mais eficiente na mistura com RMG, que apresentou menor teor de água. Em seguida, executaram-se os ensaios de acordo com as normas apresentadas na Tabela 2.

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.

Ensaio	Norma	Observação
Absorção de água por imersão e porosidade	NBR 9778-79[6,7]	-
Resistência à compressão	NBR 5739[8]	28 dias de cura
Carbonatação acelerada	ISO 1920-12[9]	60 dias em câmara de carbonatação
Resistividade Elétrica	NBR 9204[10]	Amostra saturado – 48 horas

Tabela 2 – Normas dos ensaios realizados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência à compressão

Observa-se nos resultados do ensaio de resistência à compressão (Figura 1) que as maiores resistências mecânicas foram alcançadas pelas argamassas contendo aditivo, devido à redução do fator a/c. O ganho de resistência das amostras REF-P e RMG-P, em relação à argamassa REF, foi de 11,19% e 10,18%, respectivamente. Apesar da menor relação a/c e de apresentar efeito filer do resíduo, a argamassa RMG-P não obteve resultado superior à REF-P. Isso se deve, provavelmente, à redução dos componentes responsáveis pela resistência mecânica do compósito ao substituir o cimento pelo RMG (material inerte), conforme apresenta a literatura[2].

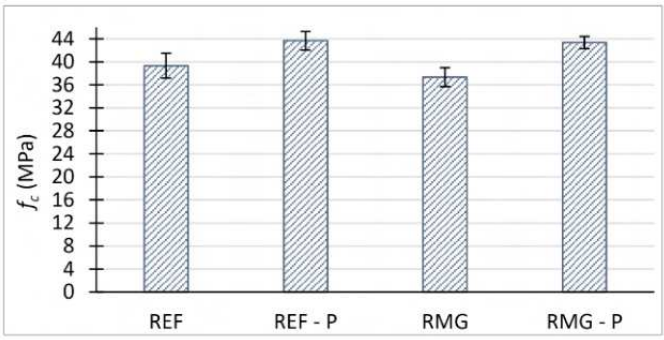

Figura 1 – Resultado de resistência à compressão (f_c) aos 28 dias.

3.2 Absorção de água por imersão, capilaridade e porosidade

Na Figura 2 estão apresentadas as porosidades aberta e total, o coeficiente de capilaridade e a absorção por imersão das amostras. Os resultados indicam que os menores valores de absorção por imersão e porosidades foram obtidos pelas argamassas contendo aditivo plastificante. Enquanto que o menor coeficiente de capilaridade foi obtido pela argamassa de referência.

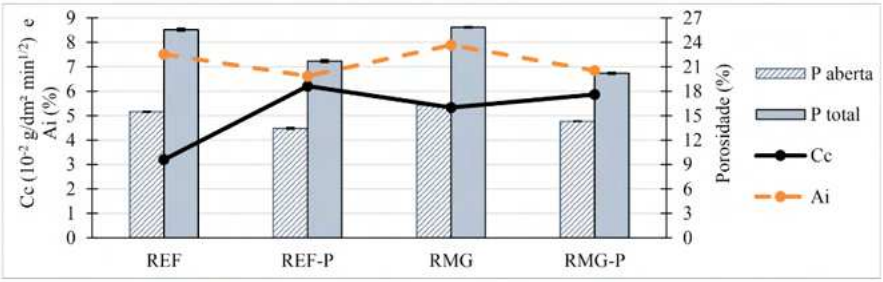

Figura 2 - Resultado da absorção por imersão (Ai), coeficiente de capilaridade (Cc) e porosidade (P).

Comparando as argamassas de mesmo fator a/c (REF e RMG), observa-se um aumento de 19,18% na absorção de água da amostra RMG, embora sua porosidade total tenha aumentado apenas 1,13% (não representativo). Esse resultado indica que, para a relação a/c utilizada, a substituição de 20% do cimento por RMG não é benéfica em relação à permeabilidade dos compósitos cimentícios. Esse aumento de permeabilidade também é representado pelo maior coeficiente de capilaridade dessa amostra. De forma geral, os resultados sugerem que a amostra REF apresentou grande volume de vazios, mas menor número de poros capilares comunicantes, enquanto a amostra RMG apresentou uma estrutura mais refinada e de vazios interligados, embora com volume de vazios semelhante à amostra anterior. As amostras REF-P e RMG-P apresentam menor quantidade de vazios e poros de menores dimensões. Para sustentar as justificativas, foram feitas imagens da porosidade interna dos corpos de prova submetidos ao ensaio de absorção, com lupa de ampliação de até 1000x, como mostra a Figura 3.

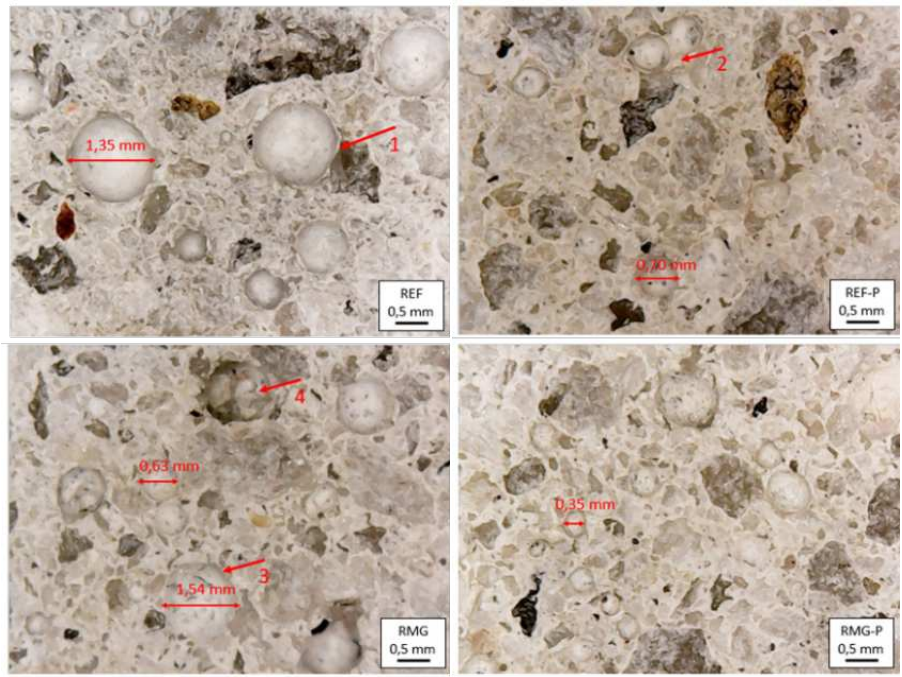

Figura 3 - Fotos da porosidade interna das argamassas.

De forma geral, observa-se que, para a argamassa REF, há poros maiores, com dimensões de até 1,35 mm e mais distantes uns dos outros. No ponto 1, percebe-se que o poro se formou próximo da zona de transição pasta-agregado, indicando uma região de enfraquecimento que pode afetar a resistência mecânica do material. Comparando-se as argamassas contendo resíduo (RMG e RMG-P), a redução da quantidade de água e o melhor empacotamento de partículas da argamassa RMG-P resultou em um compósito mais compacto, com poros menores (0,35 mm) e mais bem distribuídos, o que contribuiu com o ganho de resistência de 16,08% apresentado na Figura 1. Da mesma maneira, na amostra REF-P, nota-se uma maior quantidade de poros menores, de aproximadamente 0,70 mm, confirmando o refinamento provocado pela utilização do plastificante e redução da quantidade de água. Contudo, ainda foi possível observar poros interconectados, como indica o ponto 2. A introdução do resíduo também reduziu o tamanho dos poros na argamassa RMG para dimensões de aproximadamente 0,60 mm. Entretanto, poros maiores e mais profundos foram identificados (pontos 3 e 4), o que corrobora com a maior porosidade resultante da amostra.

3.3 Carbonatação acelerada

Na Figura 4 (a) são apresentados os resultados de carbonatação e, na Figura 4 (b), as fotos dos corpos de prova após aspersão de solução de fenolftaleína.

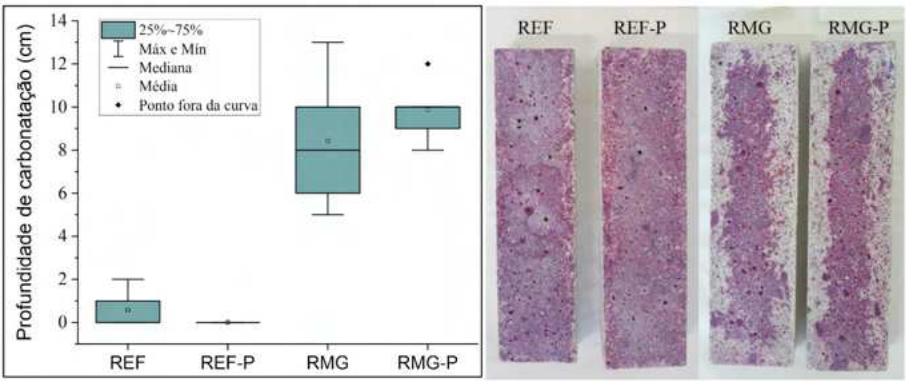

Figura 4 - (a) Profundidade de carbonatação das amostras (b) foto dos corpos de prova carbonatados

As amostras de referência (REF e REF-P) não apresentaram carbonatação representativa após os 60 dias na câmara, ainda que houvesse uma diferença de 15,08% entre as porosidades totais. Nas amostras com resíduo (RMG e RMG-P), que apresentaram diferença de 21,81% na porosidade total, foi identificada uma grande profundidade de carbonatação para ambas as amostras. Entretanto, a amostra RMG-P apresentou uma frente de carbonatação mais homogênea. Esse resultado pode ser atribuído ao fato da substituição do cimento pelo resíduo ter reduzido o teor de $Ca(OH)_2$ durante o processo de hidratação[2]. Apesar da redução da porosidade causada pelo efeito filer do RMG, a redução da alcalinidade da argamassa foi mais decisiva para essa propriedade.

3.4 Resistividade elétrica

A durabilidade dos compósitos cimentícios pode ser avaliada medindo-se sua resistividade elétrica, que indica o potencial de corrosão de armaduras[11]. Pelos resultados (Figura 5), é possível perceber que a resistividade elétrica seguiu o comportamento inverso da porosidade e as amostras com plastificante (REF-P e RMG-P) quando comparadas à REF, apresentaram resistividade elétrica superior, 49,67% e 20,16%, respectivamente. Isso se deve ao fator a/c, que é inversamente proporcional à resistividade[12].

A substituição do cimento pelo resíduo reduz o teor de $Ca(OH)_2$ na mistura, diminuindo a quantidade de íons OH^- na solução dos poros e, consequentemente, sua condutância[13]. Dessa forma, a resistividade elétrica de compostos contendo RMG deveria ser maior que o de referência. Contudo, comparando as amostras REF e RMG, nota-se que não houve uma influência significativa do resíduo nesta propriedade, que resultou em uma redução de apenas 3,06%. Isso indica que a permeabilidade foi um fator mais determinante para a resistividade que a composição química da solução nos poros.

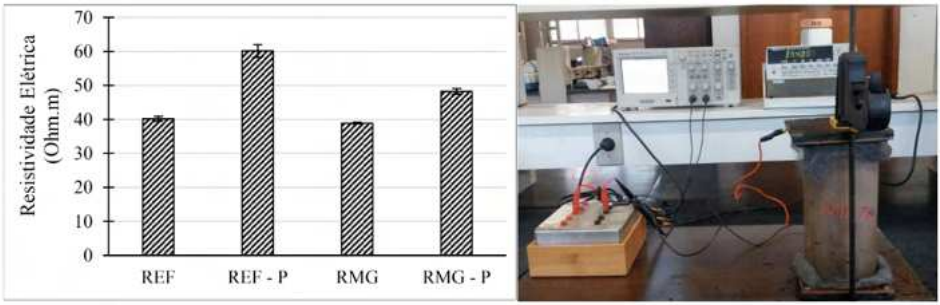

Figura 5 - Resultado de resistividade elétrica

4 | CONCLUSÕES

Com o estudo, foi possível concluir que a inserção do resíduo e do aditivo plastificante promoveram um refinamento da estrutura porosa e aumento do coeficiente de capilaridade, com manutenção da resistência nas misturas com aditivo plastificante. Apesar das alterações na estrutura porosa causadas tanto pelo resíduo quanto pelo aditivo plastificante, a redução da alcalinidade do compósito pela substituição do cimento por um material inerte foi mais prejudicial à resistência à carbonatação. Por outro lado, em relação à resistividade elétrica, a microestrutura porosa se mostrou mais importante que a alteração da condutividade da solução dos poros pela redução da alcalinidade dos compósitos com resíduo. De forma geral, observa-se que o uso do RMF 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. Entretanto, o teor de substituição foi elevado, podendo ser prejudicial à algumas propriedades relacionadas à durabilidade dos compósitos.

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. KHODABAKHSHIAN A., GHALEHNOVI M., BRITO J. DE, SHAMSABADI E. A., Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder, **Journal of Cleaner Production**, v.170, p. 42-60, 2018.

5. SARDINHA M., BRITO, J de, RODRIGUES R., Durability properties of structural concrete containing very fine aggregates of marble sludge, **Construction and Building Materials**, v.119, p. 45-52, 2016.

6. 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.

7. 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.

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

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS .**ABNT NBR 9204**: Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrico-volumétrica - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2012.

10. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1920**: Testing of concrete. Determination of the carbonation resistance of concrete. Accelerated carbonation method, 2015.

11. SILVA P. C., FERREIRA R. M., FIGUEIRAS H., **Electrical Resistivity as a Means of Quality Control of Concrete – Influence of Test Procedure**. International Conference on Durability of Building Materials and Components - XII DBMC, Porto – Portugal, 2011.

12. SARDINHA M., BRITO, J de, RODRIGUES R., Durability properties of structural concrete containing very fine aggregates of marble sludge, **Construction and Building Materials**, v.119, p. 45-52, 2016.

13. ULUBEYLI G. C., BILIR T., ARTIR R., Durability Properties of Concrete Produced by Marble Waste as Aggregate or Mineral Additives, **Procedia Engineering**, v. 161, p. 543-548, 2016.