

CARBONATAÇÃO NATURAL EM CONCRETO COM RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO AGLOMERANTE

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081111

COSTA; VITÓRIA SILVEIRA DA[1]; TEIXEIRA; FERNANDO RITIÉLE[1]; PALIGA; CHARLEI MARCELO[1]; TORRES; ARIELA DA SILVA[1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: CHARLEI.PALIGA@UFPEL.EDU.BR

RESUMO: Este trabalho avaliou a influência da substituição parcial do cimento Portland pelo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) no processo de carbonatação do concreto em ambiente natural nas cidades de Pelotas/RS e Rio Grande/RS. O resíduo foi utilizado em proporções de 5%, 7,5% e 10% de substituição em massa ao cimento. Os resultados mostraram diferença entre o traço referência e os concretos com resíduo, e também diferenças entre as cidades, com Rio Grande apresentando as menores médias de carbonatação.

PALAVRAS-CHAVES: Tecnologia da arquitetura, Concreto, Reciclagem, Resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais, Carbonatação.

ABSTRACT: This work evaluated the influence of partial replacement of Portland cement by residue from ornamental stone processing in the concrete carbonation process in a natural environment in the cities of Pelotas/RS and Rio Grande/RS. The residue was used in proportions of 5%, 7.5% and 10% replacement in mass to cement. The results showed differences between the reference mix and concrete with residue, and differences between cities, with Rio Grande presenting the lowest carbonation averages.

KEYWORDS: Architecture technology, Concrete, Recycling, Residual from the processing of ornamental rocks, Carbonation.

1 | INTRODUÇÃO

Na construção civil, um dos processos com grande volume de geração de resíduos é o da produção de rochas ornamentais. Os resíduos gerados pelas marmorarias apresentam dimensões variadas, desde grãos de pó até fragmentos maiores de formatos diversos, os quais muitas vezes são depositados em locais inadequados ou despejados na natureza, sem o descarte adequado. Muitas das empresas não sabem gerir seus resíduos e os deixam acumulados nos terrenos em torno da marmoraria ou os destinam aos depósitos de resíduos do município. Sem o devido tratamento, parte dos resíduos em forma de pó são levados por lixiviação e despejadas nos cursos d`água, contaminando diretamente os rios e solos, além de desfigurar a paisagem, o que causa preocupação na população e nas autoridades (NEGREDO(1)).

Entre os mecanismos de deterioração das estruturas de concreto, a carbonatação se destaca como um dos principais agentes iniciadores da corrosão das armaduras,

especialmente em aglomerações urbanas, em função da alta concentração de automóveis, que produzem o dióxido de carbono (LEEMANN e LOSER[2]).

A carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono no ar penetra na superfície do concreto e se dissolve na água dos poros formando ácido carbônico. O ácido carbônico reage então com o hidróxido de cálcio, esse ácido reage com alguns componentes da matriz cimentícia e resulta em carbonato de cálcio, que baixa o pH do concreto para valores próximos de 8,5. A carbonatação avança em direção ao interior do concreto e quando alcança a armadura ocorre a despassivação do aço (TIMOSHIN e AIKI[3]).

Paralelo a problemática exposta, atualmente pesquisas (GHORBANI et al.[4]; ASHISH[5]; KHODABAKHSHIAN et al.[6]; SINGH et al.[7]; entre outros) têm se mostrado bastante promissoras quanto à incorporação de resíduos do setor industrial em concretos, como forma de reduzir o consumo de matérias-primas não renováveis, e até mesmo melhorar as propriedades do mesmo.

Entre esses subprodutos estão os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, em 2017 a produção de rochas no Brasil foi de aproximadamente 9,24 Mt, sendo 1,046 Mt para exportação. Salienta-se que, em volume, 41% dos blocos de rochas são transformados em rejeitos, gerando cerca 3,36 Mt de material descartável durante o processamento das rochas ornamentais.

Desta maneira, visando uma utilização sustentável desses rejeitos, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de concretos com substituição parcial do cimento pelo RBRO frente ao processo de carbonatação natural em diferentes cidades.

2 | METODOLOGIA

A seguir são apresentadas as características dos materiais utilizados na confecção dos concretos estudados.

O RBRO, coletado na forma de lama, foi gerado por uma empresa local de beneficiamento de rochas ornamentais, a qual trabalha com rochas metamórficas de origem calcária (mármore – principais constituintes são a calcita e a dolomita) e rochas magmáticas (granito – principais constituintes são o quartzo, mica e feldspato). A coleta, seguindo a ABNT NBR 10007:2004[8], foi feita diretamente no tanque de decantação da empresa, sendo que todo o material utilizado no trabalho foi coletado no mesmo dia. Após a coleta, o material passou por um processo de homogeneização e quarteamento para a obtenção de uma amostra representativa. Na sequência, a lama do RBRO foi colocada em estufa devido ao seu grande volume, onde permaneceu por 24 horas a uma temperatura de 105°C. Em seguida, o resíduo foi passado na peneira de abertura 1,18 mm para retirada da granalha de aço e destorroamento, eliminando, desta forma, a necessidade de moagem. Uma vez destorroado, o resíduo foi passado na peneira de abertura da malha de 300 µm e armazenado em sacos, estando pronto para ser utilizado. A granulometria do RBRO foi determinada em granulometria a laser da Cilas, modelo 1064. A análise da curva mostra que o diâmetro médio de partícula do RBRO é de 30,95 µm.

Para identificar a presença de elementos cristalinos na composição do RBRO foi realizada uma análise de difração de raios X (DRX), utilizando um difratômetro Shimadzu, modelo XRD 6000, com o resultado apresentado através da Figura 1. Fazendo-se uma análise foi possível verificar que o RBRO em estudo é constituído principalmente por Quartzo (Q) e Albita (A). Pode ser observado, também, picos menos intensos de Microclina (M) e Biotita (B). Através do ensaio foi constatada a não pozolanicidade do RBRO em decorrência do mesmo apresentar um pico cristalino bem definido referente ao quartzo (SiO_2) e ausência de halo amorfo.

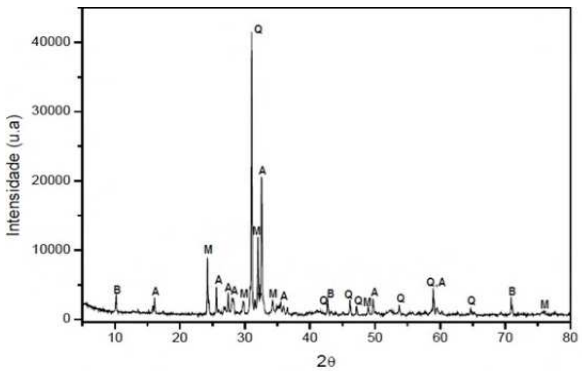

Figura 1 – Difratograma de raios X obtido para amostra de RBRO

Fonte: Autores

Para determinação da composição química do RBRO utilizou-se um espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de energia, modelo Shimadzu EDX-720. A soma dos óxidos SiO_2 (34,085 %), Al_2O_3 (18,77 %) e Fe_2O_3 (12,57%) foi de 62,42%, o que segundo a ABNT NBR 12653:2014[9] não é considerado um material pozolânico, apresentando apenas efeito físico, o que corrobora com o apontado a partir do DRX. Além disso, o teor de CaO do resíduo foi de 12,18%.

O RBRO apresentou massa específica de 2,64 g/cm³, segundo a ABNT NBR NM 23:2001[10] e massa unitária de 1,16 g/cm³ conforme a ABNT NBR NM 45:2006[11]. Já o agregado miúdo apresentou módulo de finura de 2,84, diâmetro máximo de 4,75 mm, massa específica de 2,62 g/cm³ e massa unitária de 1,55 g/cm³. A brita foi classificada como brita 1, com diâmetro máximo de 19 mm, módulo de finura de 4,69, massa específica de 2,60 g/cm³ e massa unitária de 1,41 g/cm³. Todos os ensaios de caracterização dos materiais seguiram as recomendações das normas vigentes da ABNT.

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), tendo sido escolhido por conter o maior teor de clínquer dentre os cimentos disponíveis.

Para a dosagem dos concretos utilizou-se a metodologia do IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN[12]). Definiu-se a relação água/cimento de 0,60, por ser o valor máximo considerado para um concreto estrutural, localizado em ambiente urbano, de acordo

com a ABNT NBR 6118:2014[13]. Através do procedimento experimental definiu-se o teor de argamassa seca ideal em 51% (α = 0,51) e a quantidade de água necessária para a obtenção do abatimento do tronco de cone em 70 ± 10 mm. A partir do traço de referência (1:0:2,4:3,28:0,60 – cimento:RBRO:areia:brita: fator a/c) foi realizada a substituição parcial do cimento pelo RBRO em teores de 5%, 7,5% e 10%.

2.1 Ensaio natural de carbonatação

Na cidade de Rio Grande/RS, as amostras, com relação diâmetro x altura de 10x20cm, foram expostas em ambiente urbano com umidade relativa anual superior à 70% e desprotegidas da ação do ambiente (temperatura e água da chuva). Foi escolhido como local de exposição o Campus Carreiros da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizado a 1,2 km do Porto de Rio Grande, expostos ao ar livre sobre uma marquise no prédio do Laboratório da Escola de Engenharia, conforme demonstra a Figura 2a.

A cidade de Pelotas/RS encontra-se afastada aproximadamente 60 km de região marítima, e está localizada às margens do canal São Gonçalo, que liga as Lagoas dos Patos e Mirim. Assim, as amostras foram expostas em ambiente urbano com umidade relativa anual superior à 80% e protegidas parcialmente por uma laje da ação do ambiente (temperatura e água da chuva). Os corpos-de-prova foram expostos no Campus Anglo da Universidade Federal de Pelotas, localizado no bairro Porto, zona sul da cidade, à beira do Canal São Gonçalo, cerca de 50 metros. Os corpos de prova, conforme a Figura 2b, foram dispostos no segundo pavimento de uma estrutura de concreto coberta por uma laje, e possuíam dimensões de 10x20cm (diâmetro x altura).



(a) (b)

Figura 2 – Local de exposição das amostras na cidade de Rio Grande (a) e Pelotas (b)

Fonte: Autores

2.2 Medida da profundidade de carbonatação

Na idade de 18 meses os corpos-de-prova (3 por amostra) foram rompidos à

tração por compressão diametral e, após, foi aplicada para a verificação da espessura da camada carbonatada a solução de fenolftaleína composta por 1% de fenolftaleína, 70% de álcool etílico e 29% de água destilada. Esta substância química torna o concreto não carbonatado (pH ≥12) vermelho carmim e permanece incolor no concreto carbonatado (pH< 9).

A verificação da profundidade da carbonatação se deu por meio de imagens digitais e o auxílio do software AutoCAD (Figura 3). Para a medição da profundidade de carbonatação foi utilizada a preconização da NT BUILD 492[14], que determina verificar medidas a cada 10 mm, sendo o resultado a média entre todas elas.

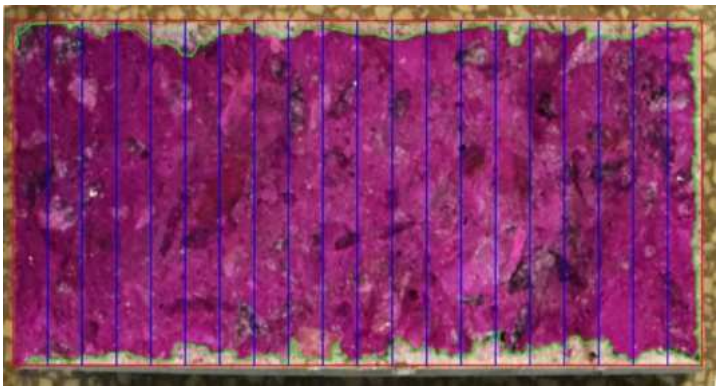

Figura 3 – medida de profundidade de penetração de cloretos

Fonte: Autores

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4a apresenta a média simples das medidas realizadas de profundidade de carbonatação. Analisando entre as cidades de exposição, Rio Grande teve menores médias de carbonatação nos concretos com resíduo, demonstrando que no ambiente marinho o concreto teve um melhor comportamento.

Quando os poros estão saturados, a velocidade de transporte do CO_2, que ocorre por difusão, diminui excessivamente. Segundo Bary e Sellier[16], as maiores velocidades de carbonatação ocorrem em umidades entre 40% a 80%, ou ainda entre 50% e 70%, de acordo com Thiery et al.[17]. No período deste estudo, a cidade de Pelotas teve média de 88% de UR, enquanto Rio Grande 76%, de acordo com Estação Agroclimatológica da região, o que não confere com os resultados destes estudos, que afirmam que maiores umidades relativas reduzem a profundidade de carbonatação, pois a cidade de Pelotas apresentou maiores médias e maiores valores absolutos de profundidade quando comparados os traços com RBRO, conforme as Figuras 4a e 4b. Porém, como não foi medido o teor de concentração de CO_2 em cada cidade, acredita-se que esta diferença está baseada neste parâmetro, pois de acordo com Pauletti et al.[18], este é um dos fatores determinantes para medida de profundidade de carbonatação.

De acordo com Teixeira et al.[15], quanto maior a quantidade de RBRO maior a taxa

de absorção por imersão e por capilaridadade, que são indícios de maiores facilidades de penetração de agentes agressivos no interior do concreto. Este fator pode explicar as maiores profundidades de carbonatação, tanto médias quanto absolutas para as duas cidades, para maiores valores de substituição do aglomerante pelo RBRO. Entretanto, um ponto positivo observado para os resultados na cidade de Rio Grande, é que o traço 0% RBRO (referência) foi o que apresentou maior profundidade de carbonatação, ou seja, o resíduo provocou uma redução da penetração do agente agressivo.

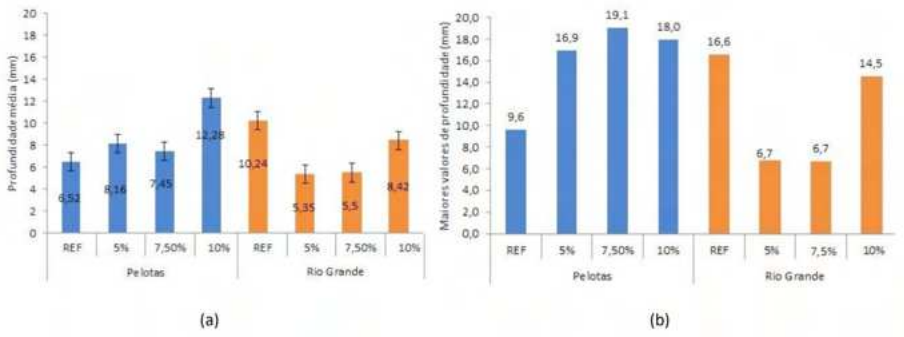

Figura 4 – Profundidades médias de carbonatação (a) e maiores profundidades de carbonatação (b)

Fonte: Autores

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o intuito de aproveitar as propriedades do RBRO, para aplicação em concretos estruturais, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de concretos com substituição parcial do cimento pelo RBRO frente ao processo de carbonatação natural em diferentes cidades. Como principais conclusões, mostrou-se que a diferença dos ambientes das duas cidades influenciou na frente de carbonatação, com a cidade de Rio Grande tendo apresentado as menores médias de penetração do CO_2 no concreto. Ademais, que as substituições parciais do cimento Portland por RBRO também influenciaram a entrada e propagação do dióxido de carbono, apresentando as maiores médias de profundidades atingidas os corpos de prova com maior substituição do cimento, influenciando, assim, a vida útil das estruturas de concreto.

REFERÊNCIAS

1. NEGREDO, A. S. **Durabilidade de concretos com resíduo de marmoraria sob a ação combinada de carbonatação e cloretos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

2. LEEMANN A.; LOSER, R. Carbonation resistance of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 335-341, 2019.

3. TIMOSHIN A.S.; AIKI, T. Extreme solutions in control of moisture transport in concrete carbonation. **Nonlinear Analysis: Real World Applications**, v. 47, p. 446-459, 2019.

4. GHORBANI, S.; TAJI, I.; TAVAKKOLIZADEH, M.; DAVODI, A.; BRITO, J. Improving corrosion resistance of steel rebars in concrete with marble and granite waste dust as partial cement replacement. **Construction and Building Materials**, v. 185, p. 110-119, 2018.

5. ASHISH, D. K. Feasibility of waste marble powder in concrete as partial substitution of cement and sand amalgam for sustainable growth. **Journal of Building Engineering**, v. 15, p. 236-242, 2018.

6. KHODABAKHSHIAN, A.; BRITO, J.; GHALEHNOVI, M.; ASADI S. Mechanical, environmental, and economic performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 237-251, 2018.

7. SINGH, M.; SRIVASTAVA, A.; BHUNIA, D. An investigation on effect of partial replacement of cement by waste marble slurry. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 471-488, 2017.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653**: Materiais pozolânicas – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Agregado miúdo - Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

12. HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

14. BUILD, NT. 492, Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Nordtest method. 1999.

15. TEIXEIRA, F. R.; MAGALHÃES, F. C.; WALLY, G. B.; SELL JUNIOR, F. K.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. S. Use of ornamental rock waste as a partial substitute for binder in the production of structural concrete. **IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 13, n. 3, p. 501–514, 2020.

16. BARY, B.; SELLIER, A. Coupled Moisture-Carbon Dioxide-Calcium Transfer Model for Carbonation of Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 10, p. 1859-1872, 2004.

17. THIERY, M.; VILLAIN, G.; DANGLA, P.; PLATRET, G. Investigation of the Carbonation Front Shape on Cementitious Meterials: effects of the chemical kinetics. **Cement and Concrete Research**, v. 37, p. 1047-1058, 2007.

18. PAULETTI, C.; POSSAN, E.; DAL MOLIN, D. C. Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 4, p. 7-20, 2007.