

Efeitos da incorporação de resíduos do corte de mármore e granito como agregado parcial graúdo em concreto

Effects of incorporation of waste from cutting marble and granite as coarse partial aggregate in concrete

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça¹, Osires de Medeiros Melo Neto^{1*}, John Kennedy Guedes Rodrigues¹, Ingridy Minervina Silva¹, Robson Kel Batista de Lima¹, Pedro Matheus Vitorino Gomes¹, Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz¹

¹Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Civil. Campina Grande-PB, 58429-900, Brasil.

*Autor de correspondencia: osiresdemedeiros@servidor.uepb.edu.br

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 3 abril 2022 **Aceptado:** 1 diciembre 2022 **Publicado:** 21 diciembre 2022

Resumo

A crescente necessidade de agregados devido ao crescimento da produção industrial tem levado a uma diminuição dos recursos disponíveis. A indústria de corte de mármore e granito gera um grande volume de resíduos e nos últimos anos o uso destes nas edificações tem aumentado. Assim, com a ampliação da produção nas marmorarias, a quantidade de resíduos não pode ser armazenada e torna-se necessário o reaproveitamento desses resíduos, principalmente na fabricação de produtos de concreto para fins de construção. O objetivo principal deste estudo é avaliar o desempenho físico e mecânico do concreto com substituição do agregado graúdo por resíduos provenientes do processo de corte de mármore e granito. Realizou-se o estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova nas dimensões de 10 cm x 20 cm, com substituição do agregado graúdo (brita 9,5mm) por teores de 40% e 60% de resíduos de mármore e granito (RMG), sendo avaliadas as propriedades do concreto por meio dos ensaios de Resistência à Compressão Simples, Resistência à Tração por Compressão Diametral e Determinação da Absorção de Água. Os resultados permitiram concluir que a substituição do agregado graúdo convencional por resíduos de mármore e granito promoveu a elevação da resistência à compressão de 9,68% e 11,42% e à resistência à tração de 6,20% e 7,02% para 40% e 60% de RMG, respectivamente. Observou-se um leve aumento da absorção de água, sendo, portanto, indicado para utilização como agregado alternativo para uso em concreto.

Palavras-chave: Agregados reciclados, Concreto, Resíduos, Meio ambiente

Abstract

The growing need for aggregates due to the growth of industrial production has led to a decrease in available resources. The marble and granite cutting industry generates a large volume of waste and in recent years the use of these in buildings has increased. Thus, with the expansion of production in marble factories, the amount of waste cannot be stored and it becomes necessary to reuse these wastes, especially in the manufacture of concrete products for construction purposes. The main objective of this study is to evaluate the physical and mechanical performance of concrete with the replacement of coarse aggregate by residues from the process of cutting marble and granite. A study of the dosage and molding of the specimens in the dimensions of 10 cm x 20 cm was carried out, with replacement of the coarse aggregate (crushed 9.5 mm) by levels of 40% and 60% of marble and granite residues (RMG), being evaluated the properties of the concrete through the tests

of Strength to Simple Compression, Strength to Traction by Diametric Compression and Determination of Water Absorption. The results allowed us to conclude that the replacement of conventional coarse aggregate by marble and granite residues increased the compressive strength of 9.68% and 11.42% and the tensile strength of 6.20% and 7.02 % for 40% and 60% RMG, respectively. A slight increase in water absorption was observed, being, therefore, indicated for use as an alternative aggregate for use in concrete.

Keywords: Recycled aggregates, Concrete, Waste, Environment

1. Introdução

O material mais amplamente utilizado no mundo e um dos principais materiais compósitos para a construção é o concreto. Na produção deste material há um grande consumo de matérias-primas virgens e, portanto, a identificação de estratégias destinadas a minimizar seu impacto ambiental é importante para tornar a indústria da construção mais sustentável [1-4].

O aumento do consumo de materiais devido ao crescimento industrial levou ao rápido esgotamento dos recursos naturais, incluindo energia e matérias-primas. Além disso, uma significativa quantidade de resíduos surge com o aumento da produção, e os resíduos impactam negativamente o meio ambiente [5]. O destino dos resíduos é um dos grandes problemas que o mundo enfrenta hoje, independentemente dos motivos, sejam políticos, econômicos ou ecológicos. Recentemente, a reciclagem de resíduos em todos os segmentos da cadeia produtiva tem sido incentivada [6-8].

Por causa do esgotamento contínuo dos agregados das pedreiras, os materiais de construção são cada vez mais avaliados por suas características ecológicas. A indústria de corte de pedras finas gera um grande volume de resíduos. Estudos mostraram que os resíduos de mármore e granito podem ser utilizados como agregados para diversos materiais de construção civil [9, 10]. Especialmente nos últimos anos, o uso de mármore nas edificações tem aumentado. Assim, com o aumento da produção nas marmorarias, a quantidade de resíduos não pode ser armazenada e ao utilizar esses subprodutos que não podem ser armazenados em outros setores, o ganho econômico pode ser alcançado e a poluição ambiental pode ser evitada [11].

Pesquisas apontam efetividade na utilização desses resíduos para fabricação de concretos ecológicos. Arel [12] investigou estudos que enfocaram o uso de resíduos de mármore para substituir cimento e agregado na produção de concreto. Os resíduos reciclados de mármore em substituição ao agregado graúdo aumentou a resistência à compressão, assim como a trabalhabilidade. Farinha et al. [13] e Rana et al. [14] apontam que há alguns aspectos vantajosos da reutilização de resíduos de corte de granito, como a alta finura e a possibilidade de uso como preenchimento, minimizando o uso de recursos naturais, reduzindo custos, respeitando a geodiversidade e, conseqüentemente, a biodiversidade. Estudos anteriores apontam que em média 30 a 40% do mármore e granito processados nas fábricas correspondem os resíduos de produção [15].

Binici et al. [16] investigaram a durabilidade e as propriedades frescas do concreto feito com granito e mármore como agregados reciclados. Nos corpos de prova contendo mármore e granito há uma ligação muito melhor entre os aditivos, cimento e agregado. O estudo conclui que esses aditivos proporcionam melhorias nas propriedades mecânicas, na trabalhabilidade e resistência química das misturas convencionais de concreto. O uso desses resíduos em forma de pó também vem sendo estudado. Aydin e Arel [17] realizaram um estudo com incorporação de alto volume de pó de mármore como substituto de cimento em argamassas para produzir materiais de construção

leves e ecológicos. Os resultados revelaram que a substituição de até 60% deste constituinte foi eficaz.

Gencil et al. [10] investigaram a incorporação de resíduos de mármore em fabricação de blocos de pavimentação de concreto e constataram que houve aumento do fator água/cimento e que a densidade varia de acordo com as propriedades do material. Além disso, os autores apontaram que o tipo de cimento influencia na durabilidade dos blocos. Chen et al. [18] realizaram um estudo com adição de resíduo de granito como substituto de areia em argamassas. Os resultados permitiram concluir que a incorporação desse constituinte melhora o desempenho por diminuir o número de vazios e a porosidade, aumentando a densidade da pasta. A adição deste material nos teores de 15 e 20% em substituição à areia, em volume, proporcionou ganho de resistência de 31,2% e 70%, respectivamente.

Assim, a literatura apresenta a lacuna de estudo físico e mecânico do concreto com elevados teores de resíduos do corte de mármore e granito como agregado graúdo. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico e mecânico do concreto com substituição do agregado graúdo por resíduos provenientes do processo de corte de mármore e granitos em teores de 40 e 60%.

2. Materiais e Métodos

Neste tópico são descritos os materiais e procedimentos realizados durante a fase experimental da pesquisa, de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Materiais

Na produção do concreto da pesquisa foi utilizado o Cimento Portland CP II Z 32, composto com adição de pozolana, adquirido no comércio local do município de Campina Grande-PB. O agregado miúdo utilizado foi Areia quartzosa, extraída do Rio Paraíba-PB.

Os agregados graúdos, brita 25 mm e brita 9,5 mm, foram cedidos pela empresa Rocha Cavalcante e os resíduos do corte de mármore e granito foram cedidos pela empresa GRANFUJI, ambas empresas localizadas no distrito industrial da cidade de Campina Grande-PB. A água utilizada foi a água fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), potável e destinada ao consumo humano. A Figura 1 apresenta os resíduos do corte de Granito e Mármore utilizados na pesquisa.

a)



b)



Fig.1 Resíduos utilizados na fabricação do concreto: a) Granito, b) Mármore

A britagem foi realizada com o objetivo de fragmentação dos resíduos, levando-os a granulometrias compatíveis com a brita 9,5 mm, já que possuem tamanhos variados. Sequencialmente, os resíduos de mármore e granito passaram por um peneiramento para retirar as partículas de pó que foram obtidas, restando apenas resíduos que passaram por uma análise granulométrica para posterior inserção no concreto, conforme apresentado na Figura 2.

a)



b)



Fig.2 Resultado da britagem: (a) Granito, (b) Mármore

A Figura 3 apresenta a distribuição granulométrica dos agregados, ensaiados segundo a norma ABNT NBR NM 248:2018, e a Tabela 1 apresenta os resultados de caracterização física dos agregados.

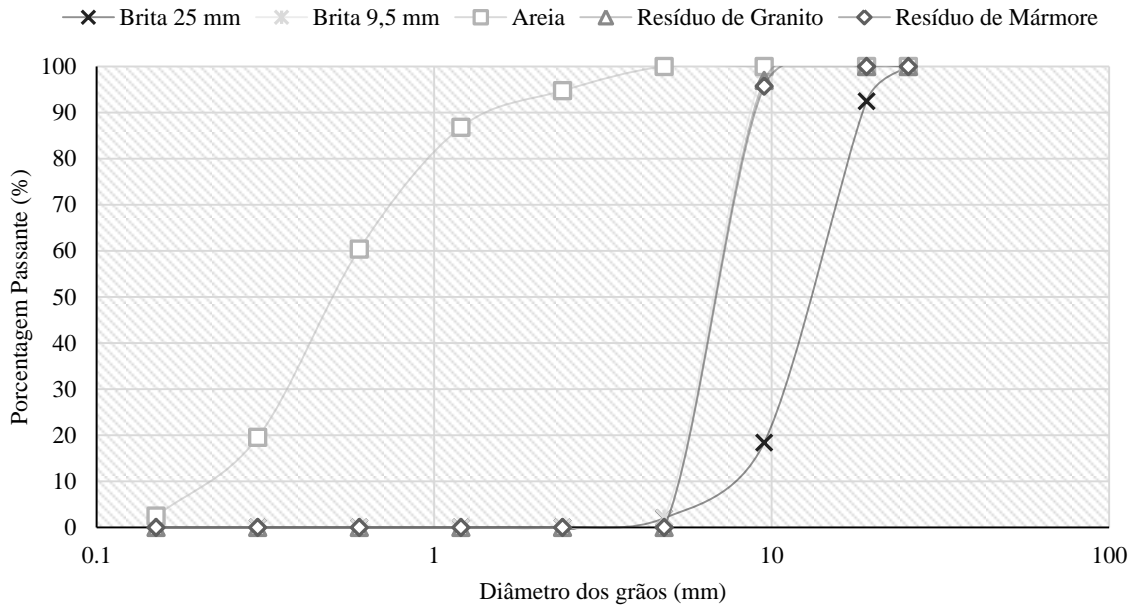


Fig.3 Distribuição granulométrica dos agregados

Tabela 1. Caracterização física dos agregados

ENSAIOS	RESULTADOS						NORMA
	Brita 25 mm	Brita 9,5 mm	Resíduo de Granito	Resíduo de Mármore	Areia	Cimento	
Massa específica real (g/cm ³)	2,69	2,59	2,84	2,76	2,59	2,91	ABNT NBR 16916:2021/ ABNT NBR 16917:2021
Absorção (%)	0,3	0,5	0,3	1,61	-	-	ABNT NBR 16916:2021/ ABNT NBR 16917:2021]
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	1,5	1,43	1,42	1,33	1,5	-	ABNT NBR NM 45:2006
Índice de finura (%)	6,87	5,98	6,03	6,04	2,36	2,84	ABNT NBR NM 248:2018
Diâmetro máximo nominal (mm)	25	9,5	9,5	9,5	4,8	-	ABNT NBR NM 248:2018

De acordo com Metha e Monteiro [19], a maioria dos agregados naturais possui massa específica entre 2,6 e 2,7 g/cm³, valores próximos aos obtidos neste estudo. Observa-se que os agregados graníticos encontram-se dentro dos parâmetros estabelecidos para a utilização em concreto, segundo as normas da ABNT e Neville [20]. Chagas Filho [21] aponta que os valores de absorção para agregados de origem granítica são de aproximadamente 0,3% de modo que os resultados obtidos foram satisfatórios. O índice de finura do cimento Portland se enquadra dentro do limite máximo de 12% especificado pela norma ABNT NBR NM 248:2018.

Apesar da existência de diferentes tipos de granito, segundo Frascá [22], a mudança de coloração se deve ao tipo de feldspato existente na composição e impurezas contidas. Conforme resultados obtidos para caracterização física do resíduo, verifica-se que os valores obtidos são análogos aos

obtidos para o agregado graúdo convencional. Para a absorção, os resultados obtidos corroboram com os estudos realizados por Chagas Filho [21].

De acordo com os resultados obtidos para a caracterização física do resíduo de mármore, observa-se que os valores encontrados para a massa unitária e massa específica são próximos aos obtidos para o agregado graúdo convencional utilizado nesta pesquisa. Para a absorção verifica-se uma elevação significativa justificada pela origem de rocha calcária do resíduo. De acordo com Neville [20] e com a NP EN 933-3:2014, o resíduo utilizado pertence ao grupo Calcário, estando também nesse conjunto, o dolomito e o próprio calcário. Neville [20] ainda informa que para o grupo, a massa específica real pode variar entre valores de 2,5 a 2,8 g/cm³, e cita que a porosidade pode variar até 37,6%, podendo interferir na porosidade total do concreto.

Métodos

O programa experimental da pesquisa foi realizado em duas etapas: a primeira na moldagem de blocos de concreto com os teores pré-estabelecidos de resíduos do corte de mármore e granito britados e a segunda etapa corresponde à análise das propriedades dos concretos modificados. Os ensaios de caracterização do concreto em estudo foram realizados no Laboratório de Solos II e de Engenharia de Pavimentos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

Dosagem

Para dosagem do concreto, o método utilizado foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e, após a caracterização dos materiais, foi obtido o traço 1:2:3,14, com fator água/ cimento (a/c) de 0,53. A escolha dos percentuais de substituição do agregado graúdo brita 9,5 mm por resíduos do corte de Mármore e Granito foi de 40% e 60%, determinados a partir de informações extraídas de pesquisas anteriores [10, 12, 17, 18] acerca do tema e do conhecimento das propriedades do material.

O traço adotado como referência possui como resistência característica (fck) de 20 MPa, e o valor do abatimento de tronco cone (slump test) foi fixado entre (40 – 60 mm), entretanto, após a realização do ensaio, conforme preconizado na ABNT NBR 16889:2020, notou-se que para obter o valor de abatimento desejado, seria necessário um incremento na quantidade de água, obtendo assim, o traço corrigido de 1:2:3,14:0,58.

Sequencialmente foram moldados corpos de prova cilíndricos de referência (CREF) com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e corpos de prova com substituição da brita 9,5 mm por resíduos de mármore e granito, na proporção de 40% (20% de resíduo de mármore e 20% de resíduo de granito) e 60% (30% de resíduo de mármore e 30% de resíduo de granito) sendo nomeados de C40%RMG e C60%RMG, respectivamente e, estabeleceu-se as idades de cura para rompimento dos corpos de prova de 7, 14, 21 e 28 dias. Para realização dos ensaios estabelecidos na pesquisa, foram moldados 24 corpos de prova por composição de concreto. A Tabela 2 representa o consumo de materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova de cada composição de concreto da pesquisa.

Tabela 2. Consumo de materiais para confecção dos corpos de prova

MATERIAL	CREF	C40%RMG	C60%RMG
Cimento (kg)	13,17	13,17	13,17
Agregado Miúdo (kg)	26,33	26,33	26,33
Agregado Graúdo-Brita 9,5mm (kg)	16,53	9,92	6,61
Agregado Graúdo-Brita 25mm (kg)	24,80	24,80	24,80
Água (L)	7,64	7,64	7,64
Resíduo de Mármore (kg)	0	3,31	4,96
Resíduo de Granito (kg)	0	3,31	4,96

A proporção entre os agregados graúdos foi estabelecida de acordo com a norma ABNT NBR NM 45:2006, conforme as proporções 70/30, 60/40 e 50/50, respectivamente, a proporção de 60% para brita 25 e 40% para brita 9,5, foi a escolhida por apresentar a maior massa unitária compactada. A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 (Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova). Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em local protegido, em uma superfície horizontal e livre de vibrações, por um período inicial de 24 horas. A cura imersa foi realizada em um tanque de cura específico para concreto, onde os corpos de prova permaneceram até o dia previsto para a realização dos ensaios, conforme apresenta a Figura 4.

**Fig.4** Corpos de prova em processo de cura

Determinação das propriedades do concreto em estudo

A determinação da absorção foi realizada conforme a norma ABNT NBR 9778:2005. Este ensaio expressa em porcentagem o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis. O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado segundo a ABNT NBR 5739:2018 para realizar a caracterização mecânica do concreto, indicando a que tensão ela sofreu a ruptura. Os corpos de prova foram previamente corrigidos, para promover uma superfície plana e livre de ondulações para os mesmos, conforme estabelecido na ABNT NBR 5738:2015. Foram utilizados 2 corpos de prova de cada mistura de concreto (CREF, C40%RMG e C60%RMG) para cada tempo de cura determinado no estudo (7, 14, 21 e 28 dias), totalizando um quantitativo de 72 corpos de prova ensaiados.

A determinação da resistência à tração indireta foi realizada a fim de obter o $f_{ct,sp}$, e o ensaio seguiu a norma ABNT NBR 7222:2011. O número de corpos de prova manteve o mesmo quantitativo para o ensaio de resistência à compressão simples, o valor de 24 corpos de prova. Para realização do ensaio foram utilizadas taliscas de maneira nas dimensões de 2 cm de largura, 2 cm de espessura e 20 cm de comprimento, objetivando fazer com que o contato entre o corpo de prova e os pratos ocorra em duas geratrizes através das mesmas, a força é aplicada até que a ruptura do corpo de prova ocorra por fendilhamento.

3. Resultados e Discussão

Nesta seção estão apresentados e discutidos os resultados obtidos na fase experimental dos corpos de prova do concreto com resíduos do corte de Mármore e Granito.

Resistência à Compressão Simples

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão simples do concreto de referência-CREF, do concreto com 40% de resíduos de mármore e granito - C40%RMG e do concreto com 60% de resíduos de mármore e granito.

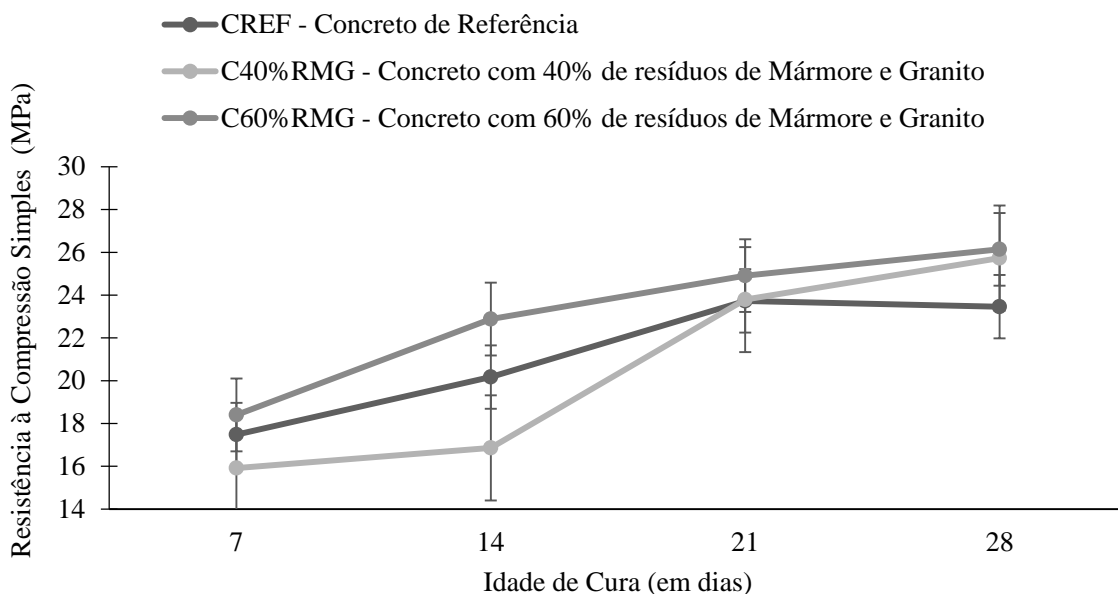


Fig.5 Resultados do ensaio de resistência à compressão simples dos concretos

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o concreto C40%RMG proporcionou aos 28 dias de cura um desempenho superior ao alcançado para o concreto de referência (CREF), obtendo-se uma elevação de resistência de 9,68%. O concreto C60%RMG promoveu a elevação da resistência à compressão simples para o concreto em todas as idades de cura em estudo, obtendo-se aos 28 dias uma elevação de 11,4%, acima do valor obtido com o concreto C40%RMG.

Segundo a ABNT NBR 5739:2018 (Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), tendo como base a idade de 28 dias, é possível analisar o desempenho do coeficiente de variação para o concreto em estudo. Para o CREF, o valor de 5,72% é classificação como razoável; o valor de 6,88% obtido para C40%RMG, por outro lado, encontra-se na categoria de deficiente. O concreto C60%RMG apresenta o valor de 2,87% e se enquadra como excelente, mostrando a menor dispersão entre os dados que foram encontrados.

A lavagem de o agregado graúdo objetiva reduzir a quantidade de pó e substância deletérias nos agregados, permitindo, desse modo, o incremento na ligação do agregado com a pasta de cimento. Tal execução pode levar a ganhos de resistência à compressão de até 8% [23]. Os resíduos passaram por um processo de beneficiamento e peneiramento, removeu-se o pó e materiais danosos que poderiam estar associados ao material, resultando em um determinado aumento na resistência do concreto.

Gencil *et al.* [10] e Neville [20] relatam que a resistência do concreto é influenciada pela forma e textura do agregado graúdo, entretanto, esse tipo de influência é variável e depende da relação água/cimento da mistura. Para relações menores que 0,40, a utilização de agregado britado pode resultar em resistências até 38% superiores a obtida para o seixo rolado (superfície lisa). Com o aumento da relação água/cimento a influência atribuída ao agregado diminui, possivelmente devido à resistência da pasta de cimento hidratada se tornar primordial. Pelo fato do presente trabalho apresentar fator água/cimento de 0,58, é de se esperar que a forma e textura dos resíduos tenham influenciado no acréscimo de resistência do concreto.

Mendes [23] afirma que a influência do agregado graúdo na resistência à compressão não é tão sensível para concretos que possuem valores de resistência características inferiores a 50 MPa, pois nessas situações, os componentes mais fracos dos mesmos são a pasta de cimento endurecida e a zona de transição entre a pasta e o agregado. Neste estudo, observou-se ganhos pontuais na resistência devido à sinergia entre alguns fatores, como a forma e textura dos grãos do agregado resultante do corte de mármore e granitos, ausência de pó e a escolha de uma granulometria específica.

Os resultados corroboram com Arel [12], que investigou o uso de resíduos de mármore para substituir cimento e agregado na produção de concreto. Os resíduos reciclados de mármore em substituição ao agregado graúdo aumentaram a resistência à compressão e a trabalhabilidade do concreto, assim como na presente pesquisa.

Resistência à Tração por Compressão Diametral

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos para a resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência-CREF, do concreto com 40% de resíduos de mármore e granito - C40%RMG e do concreto com 60% de resíduos de mármore e granito.

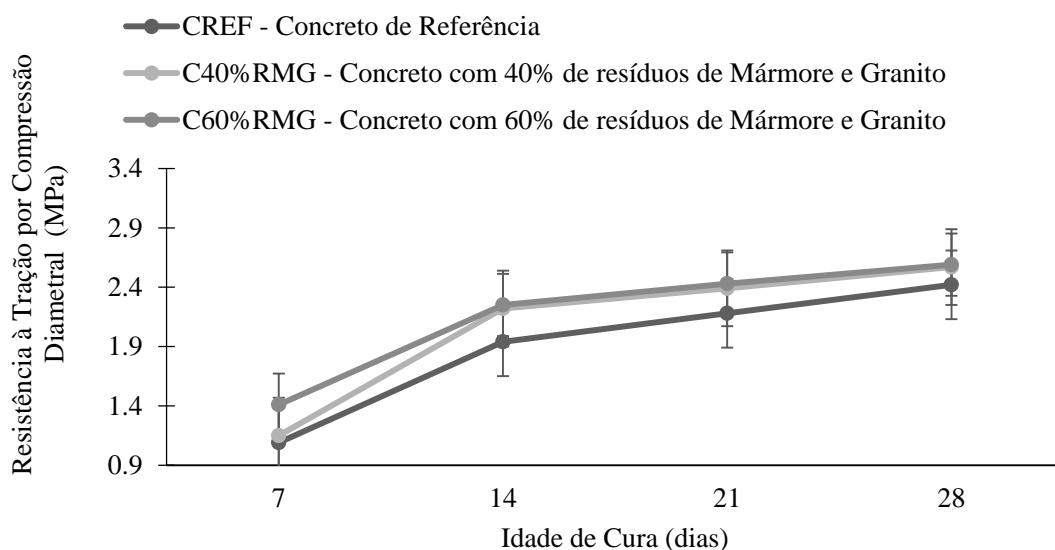


Fig.6 Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos concretos

De acordo com os resultados apresentados na Figura 6 observa-se que a adição de resíduos de mármore e granito contribuíram com o aumento da resistência à tração do concreto para todas as idades e teores analisados quando comparados ao concreto de referência, obtendo-se aos 28 dias de cura uma elevação de resistência de 6,20% para o C40%RMG e 7,02% para o C60%RMG.

Machado Junior e Agnesini [24] que ensaiaram concretos com diferentes teores de substituição de agregado natural por reciclado, com dimensões máximas de 19 e 9,5 mm, observaram por meio dos resultados obtidos para tração, que nem o teor de substituição, nem a dimensão máxima característica dos agregados apresentaram influência significativa sobre os resultados. A melhor aderência existe entre a matriz e o agregado reciclado, além de sua maior taxa de absorção, foram apontadas como razões para este comportamento.

Segundo Neville [20], uma maior aderência também é obtida com agregados mais porosos, por haver a facilitação da penetração das partículas na superfície, implicando em uma maior ligação entre pasta de cimento e agregado. Essa afirmação corrobora os resultados obtidos, pois o resíduo de mármore apresentou um valor de absorção superior ao obtido para brita granítica convencional, resultando assim, em um possível aumento de resistência na zona de transição entre pasta e agregado.

Determinação da Absorção de Água

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos para a absorção de água obtida para o concreto de referência-CREF, para o concreto com resíduos britados nos teores de 40% - C40%RMG e para o concreto com 60% - C60%RMG.

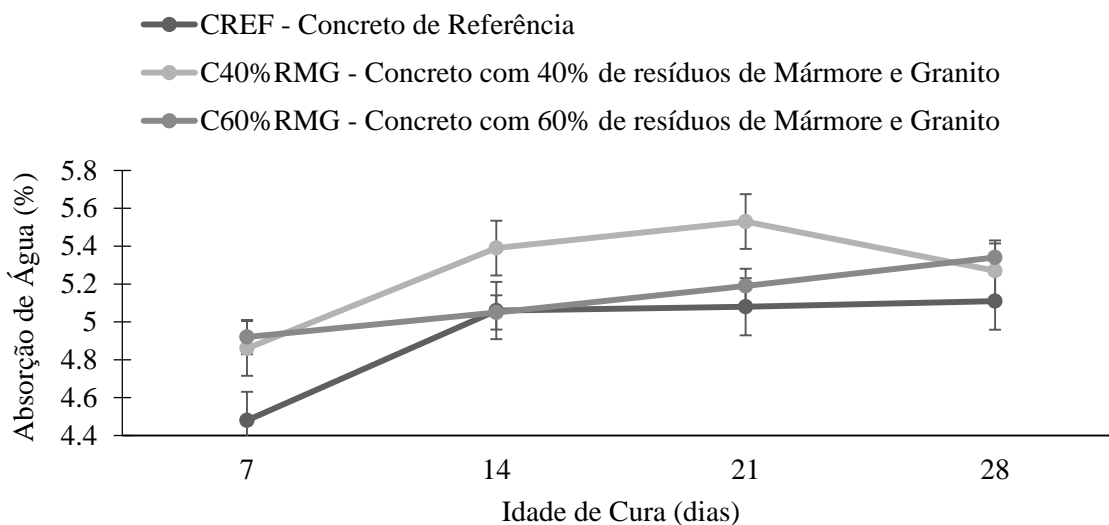


Fig.7 Resultados da absorção de água dos concretos

Para os valores encontrados pode-se notar que não houve uma grande dispersão de dados. O concreto C60%RMG apresentou aos 28 dias uma absorção de apenas 4,5% superior ao CREF; o C40%RMG obteve uma absorção de 3,13% superior ao de referência.

Rodrigues [25] utilizou resíduos de mármore e granito em pó como substituinte ao cimento, e observou que o aumento da quantidade de material substituinte acarretava em um aumento na absorção do concreto, entretanto, o valor acrescido era inferior em comparação com a quantidade de material adicionada. O autor aponta que valores de absorção situados entre 4% e 5% servem de indicação de concretos com permeabilidades mínimas, sendo materiais que se utilizados em estruturas dificilmente apresentarão falhas devido adensamento incompleto e exsudação.

Gonçalves [26] utilizou resíduo de corte de granito como substituinte ao cimento, e notou que para o teor de 10% de adição houve uma redução na absorção em 10,2%, entretanto, para o teor de 20%, foi observado um incremento de 2,5% da absorção por imersão.

O fato do concreto com maior quantidade de resíduo possuir uma maior absorção em relação aos demais pode ser um indicativo da ausência de finos no concreto, deixando, desse modo, mais espaços vazios. Entretanto, os mecanismos envolvidos não estão claramente explicados, sendo recomendado a realização de estudos sobre a microestrutura do concreto com o intuito de compreender com precisão o processo ocorrido.

4. Conclusões

Este estudo permite concluir que a substituição do agregado graúdo convencional por resíduos do corte de Mármore e Granito proporcionou ao concreto desempenho superior quanto à resistência à compressão simples e à resistência à tração por compressão diametral em relação ao concreto de referência. Para absorção de água do concreto incorporado com teores de 40% e 60% de resíduos britados resultante do corte de mármore e granitos observou-se que ocorreu uma elevação dos resultados quando comparados aos obtidos para o concreto de referência. No entanto, satisfazem os parâmetros normativos. A utilização dos resíduos de mármore e granito nos teores testados como substituinte ao agregado graúdo convencional se apresentou como uma boa alternativa para uso parcial no concreto, apresentando ganho de resistência mecânica para o concreto. Portanto, dentre as formas existentes que visam à redução do impacto ambiental causado pela geração de resíduos industriais, uma das que apresenta maiores vantagens é a reciclagem. Ensaios de abrasão, suscetibilidade ao ataque de sulfato, módulo de elasticidade e microscopia eletrônica de varredura são importantes para viabilizar o uso do resíduo como agregado graúdo em concreto estrutural.

Referências

1. Moon, J., Kalb, P.D., Milian, L., Northrup, P.A., *Characterization Of A Sustainable Sulfur Polymer Concrete Using Activated Fillers*. Cement and Concrete Composites, 2018. **67**: p. 20-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.12.002>
2. Toufigh, V., *Experimental Study and Constitutive Modeling of Polymer Concrete's Behavior in Compression*. Construction and Building Materials, 2016. **112**: p. 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.100>
3. Shokrieh, M.M., Rezvani, S., *Mechanical Behavior of Polyester Polymer Concrete under Low Strain Rate Loading Conditions*. Polymer Testing, 2017. **63**: p. 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.09.015>
4. Jafari, K., *Optimizing the Mixture Design of Polymer Concrete: An Experimental Investigation*. Construction and Building Materials, 2018. **167**: p. 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.191>
5. Tunc, E. T., *Recycling of marble waste: A review based on strength of concrete containing marble waste*. Journal of Environmental Management, 2019. **231**: p. 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.034>
6. Mashaly, A.O., Shalaby, B.N., Rashwan, M.A., *Performance of mortar and concrete incorporating granite sludge as cement replacement*. Construction and Building Materials, 2018. **169**. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.046>
7. Silva, R.V., Brito, J., Dhir, R.K., *Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications*. Journal of Cleaner Production, 2019. **236**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117629>
8. Azevedo, A.R.G., Marvila, M.T., Silva Barroso, L., Zanelato, E.B., Alexandre, J., Castro Xavier, G., Monteiro, S.N., *Effect of granite residue incorporation on the behavior of mortars*. Materials, 2019. **12**. <https://doi.org/10.3390/ma12091449>
9. Hebhouh, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., *Use of waste marble aggregates in concrete*. Construction and Building Materials, 2011. **25**: p. 1167-1171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.037>

10. Gencil, O., Cengiz, O., Koksall, F., Erdogmus, E., Martínez-Barrera, G., Brostow, W., *Properties of concrete paving blocks made with waste marble*. Journal of Cleaner Production, 2012. **21**: p. 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.023>
11. Demirel, B., Alyamaç, K.E., *Waste marble powder/dust*. In: *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete*, p. 181–197, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00006-7>
12. Arel, H.S., *Recyclability of waste marble in concrete production*. Journal of Cleaner Production, 2016. **131**: p. 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.052>
13. Farinha, C., Brito, J., Veiga, R., *Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars*. Construction and Building Materials, 2015. **83**. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.028>
14. Rana, A., Kalla, P., Verna, H.K., Mohnot, J.K., *Recycling of dimensional stone waste in concrete: a review*. Journal of Cleaner Production, 2016. **35**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.126>
15. Alyamac, K.E., Tugrul, E., *A durable, eco-friendly and aesthetic concrete work: marble concrete*. In: *International Congress on Advances in Civil Engineering*, 2014. **50**: p. 21–25.
16. Binici, H., Shah, T., Aksogan, O., Kaplan, H., *Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates*. Journal of Materials Processing Technology, 2008. **208**: p. 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.120>
17. Aydin, E., Arel, H.S., *High-volume marble substitution in cement-paste: Towards a better sustainability*. Journal of Cleaner Production, 2019. **237**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117801>
18. Chen, J.J., Li, B.H., Ng, P.L., Kwan, A.K.H., *Adding granite polishing waste as sand replacement to improve packing density, rheology, strength and impermeability of mortar*. Powder Technology, 2020. **364**: p. 404-415. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.012>
19. Metha, P.K., Monteiro, P.J.M., *Concreto: Estrutura, propriedades e materiais* 1994, São Paulo: Pini.
20. Neville, A.M., *Propriedades do Concreto* 2016, Porto Alegre: Bookman.
21. Chagas Filho, M.B., *Estudo de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais*. Tese de D.Sc., Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
22. FRASCÁ, M.H.B.O., *Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas*. In: Vidal, F.W.H. et al., *Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento* 2014, **2**, Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.
23. MENDES, S.E.S., *Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Paraná, 2002.
24. Machado Junior, E.F., Agnesini, M.V.C., *Estudo Comparativo das Propriedades Físicas e Mecânicas de Microconcretos Leves Produzidos Com Argila Expandida e Com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição*. In: Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 1999.
25. Rodrigues, M.A., *Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável*. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual do Amazonas, 2015.
26. Gonçalves, J.P., *Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como adição para produção de concretos*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

Conflito de Interesses

Nenhum potencial de interesse competitivo foi relatado pelos autores.

Contribuição dos autores

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4595-2959>

Elaboração da conceituação, metodologia, supervisão, validação, redação, edição e revisão do manuscrito.

RCI Gonçalves et al.

Osires de Medeiros Melo Neto. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2535-0969>

Metodologia, supervisão, validação, redação, edição e revisão do manuscrito.

John Kennedy Guedes Rodrigues. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0340-5567>

Metodologia, supervisão, validação, redação, edição e revisão do manuscrito.

Ingridy Minervina Silva. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2538-9166>

Metodologia, supervisão, validação, redação, edição e revisão do manuscrito.

Robson Kel Batista de Lima. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6917-9895>

Redação, edição e revisão do manuscrito.

Pedro Matheus Vitorino Gomes. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5742-730X>

Elaboração da conceituação, metodologia, supervisão, validação, redação, edição e revisão do manuscrito.

Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8680-5795>

Elaboração da conceituação, metodologia, supervisão, validação, redação, edição e revisão do manuscrito.