

**ANALISE DO CONCRETO DESTINADO À FABRICAÇÃO DE PAVERS
UTILIZANDO O RESÍDUO DO MÁRMORE COMO AGREGADO MIÚDO PARCIAL**

Fellipe Dalyson Gadelha Silva¹
(fellipeengenharia@outlook.com¹)
Saul Barbosa Guedes²
(saulbguedes@yahoo.com.br²)
Thiago da Nóbrega Sousa³
(thiagons@live.com³)
Thyago Lima Souza⁴
(thyago.limasouza@gmail.com⁴)

Resumo

A utilização do mármore nos diversos setores da construção civil tem gerado um expressivo volume de resíduos durante o processo de extração e beneficiamento. Além disso, a indústria da construção demanda uma acentuada extração de areia para produção do concreto, um dos materiais mais consumidos mundialmente. Estes aspectos acarretam sérios danos ambientais, tornando os métodos construtivos cada vez mais distantes das indispensáveis práticas de sustentabilidade ambiental. O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade do reaproveitamento do resíduo do mármore ao ser utilizado como agregado miúdo parcial do concreto para produção de pavers, proporcionando uma destinação adequada ao resíduo reduzindo a demanda e consequentemente extração da areia. Para isso, primeiramente foram avaliadas as características físicas do resíduo e dos materiais constituintes do concreto; em seguida foi definido o traço de referência pelo método da ABCP considerando a ABNT NBR 9781/2013, que exige a resistência característica mínima à compressão de 35 MPa e absorção de água inferior a 6% para tráfego leve. Foi realizada a substituição do agregado miúdo pelo resíduo nas percentagens de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. Posteriormente foram analisadas as resistências à compressão simples do concreto de acordo com ABNT NBR 5739/2018 e absorção de água por imersão de conforme a ABNT NBR 9778/2009. Avaliando os resultados com sete dias de cura do concreto observou-se que os valores de resistência à compressão diminuíram e os valores de absorção de água cresceram com aumento do teor de resíduo. Os traços com substituição de 10%, 20% e 30% obtiveram resistência superior a 35 MPa e absorção de água menor que 6%, tornando portanto, viável a aplicação destes concretos na produção das peças de pavimento intertravado.

Palavras-chave: Concreto, Agregado reciclado, Pavimento intertravado.

Abstract

The use of marble in the various sectors of civil construction has generated an expressive volume of waste during the process of extraction and processing. In addition, the construction industry demands a sharp extraction of sand for the production of concrete, one of the materials most consumed worldwide. These aspects lead to serious environmental damage, making construction methods increasingly more distant from the indispensable practices of environmental sustainability. The objective of the present work was to analyze the feasibility of the reuse of the marble residue when it is used as a small aggregate of the concrete for the production of pavers, providing a suitable destination for the residue and reducing the demand and consequently the sand extraction. For that, first the physical characteristics of the residue and of the constituent materials of the concrete were evaluated; then the reference line was

defined by the ABCP method considering ABNT NBR 9781/2013, which requires the minimum characteristic compressive strength of 35 MPa and water absorption of less than 6% for light traffic. Replacement of the small aggregate by the residue was carried out in percentages of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. Subsequently, the compressive strengths of the concrete according to ABNT NBR 5739/2018 and immersion water absorption according to ABNT NBR 9778/2009 were analyzed. Evaluating the results with seven days of curing of the concrete, it was observed that the compressive strength values decreased and the water absorption values increased with increasing residue content. The traces with 10%, 20% and 30% substitution obtained resistance greater than 35 MPa and water absorption of less than 6%, making it possible to apply these concretes in the production of the interlocked pavement pieces.

Keywords: Concrete, Recycled aggregate, Interlocking floor.

Introdução

Os pavers são peças de concreto pré-moldadas cada vez mais utilizadas em projetos de pavimentação de diferentes vias de tráfego. De acordo com Fernandes (2016), desde 1960 o paver tem sido bastante empregado na Europa e Ásia, atualmente a Alemanha é o maior produtor destes pré-moldados, e os países como Inglaterra e Nova Zelândia são os maiores consumidores. Estas peças possuem diversos formatos, tamanhos cores e recursos que proporcionam o ganho de resistência estrutural do pavimento.

Já o concreto é o principal material da construção civil, sua importância se dá devido às diversas aplicações que o mesmo possui principalmente como elemento estrutural. Seu grande consumo acarreta agressões significativas ao meio ambiente, com a expressiva extração de areia dos leitos dos rios e as emissões de gases e grande consumo de energia na produção do cimento.

Em se tratando do mármore, pode ser definido como uma rocha metamórfica proveniente da transformação físico-química sofrida pelo calcário, quando submetido a elevadas temperaturas e pressões. O nível metamórfico atrelado com a composição química do mineral define as variadas cores e texturas que a rocha possui, bem como a suas características físicas e mecânicas, fazendo assim um material rentável para a indústria de rochas ornamentais (VIDAL, AZEVEDO e CASTRO, 2014).

As Rochas ornamentais como o mármore, são bastante utilizadas na construção civil, em muitos casos substituindo outros materiais, principalmente em detalhes construtivos como acabamento e pisos. E com o avanço da tecnologia a exploração e o consumo das rochas ornamentais cresceram exponencialmente, estimou-se que a produção brasileira de rochas ornamentais em 2017 foi de 9,24 milhões de toneladas (ABIROCHAS, 2018).

O processo de fabricação do produto final do mármore é dividido em duas etapas: lavra, beneficiamento primário e secundário. O beneficiamento secundário é precedido pelo acabamento da superfície do material e o mesmo pode seguir dois caminhos, corte em ladrilhos em grande escala ou a utilização em serviços de marmoraria (VIDAL, AZEVEDO e CASTRO 2014). Os serviços de marmoraria atendem a uma demanda mais específica de produtos, isto é, caracteriza-se pelos trabalhos que requer acabamentos elaborados, originando assim volumes altos de sobras desse material, que são descartados sem nenhum controle, agredindo o meio ambiente consideravelmente.

Dessa forma, analisando a demanda das peças de concreto para pavimento intertravado, os problemas provocados pela extração da areia para produção de concreto e

geração de grandes volumes de resíduos na fabricação do mármore, este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade para utilização do concreto destinado na fabricação de pavers utilizando o resíduo do mármore como agregado miúdo parcial, analisando o desempenho do material através dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Metodologia

Com a finalidade de alcançar os objetivos desta pesquisa, realizou-se caracterização física dos materiais utilizados, produção e avaliação do concreto de referência para as substituições e por fim, produção e avaliação do concreto com as substituições do resíduo do mármore.

Os materiais utilizados neste trabalho foram:

- Aglomerante: Cimento CP V – ARI;
- Agregado miúdo natural: areia média;
- Agregado miúdo reciclado: resíduo do mármore proveniente das marmorarias do município de Pombal-PB e realizado o beneficiamento através de um triturador mecânico, em seguida o material foi passado na peneira com abertura de malha de 4,78 mm.
- Agregado graúdo: composto de brita 0;
- Água, proveniente da rede de abastecimento de água do estado da Paraíba.

Para caracterização dos materiais que compõem o concreto foram realizados os ensaios descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização realizados.

Ensaios	Norma
Composição Granulométrica dos agregados	NBR NM 248/2003
Massa Unitária dos agregados	NBR NM 45/2006
Massa Específica dos agregados graúdos	NBR NM 53/2010
Massa Específica dos agregados miúdos	NBR NM 52/2009
Finura do cimento	NBR 11579/2013

Fonte: Autor, 2019.

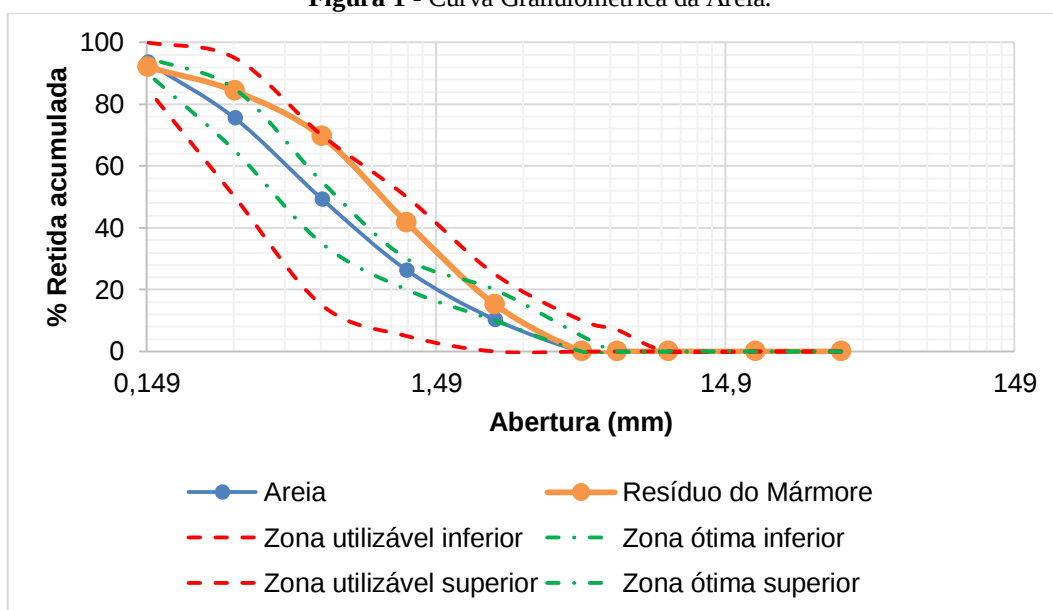
Definiu-se o traço utilizado como referência através do Método da Associação Brasileira de Cimento Portland para as substituições da areia e em seguida foram confeccionados seis corpos de prova, cujas dimensões dos moldes são de 100 milímetros de diâmetro e 200 milímetros de altura, os processos de produção, moldagem e cura do concreto conforme as recomendações da ABNT NBR 5738/2015. Após sete dias de cura do concreto foram realizados o ensaio de resistência à compressão de acordo com ABNT NBR 5739/2018 e absorção de água conforme a ABNT NBR 9778/2009.

Em sequência, foram realizados os mesmos procedimentos para avaliação do concreto com a substituição do agregado miúdo convencional pelo resíduo do mármore, sendo os percentuais de substituição de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, baseados em outros estudos acerca do tema.

Resultados

Foi realizado o ensaio de granulometria de todos os agregados utilizados neste trabalho, A Figura 1 apresenta a curva granulométrica da areia e do resíduo do mármore, bem como limites das zonas utilizáveis determinadas pela ABNT NBR 7211/2009.

Figura 1 - Curva Granulométrica da Areia.



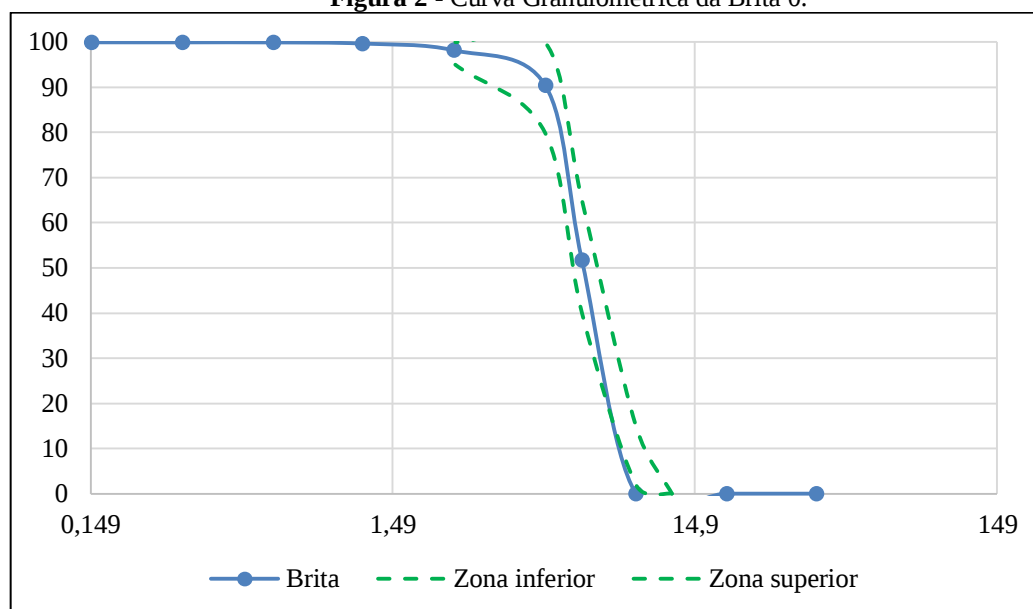
Fonte: Autor, 2019.

A areia enquadrou-se na zona ótima, apresentando uma boa distribuição granulométrica, com a presença de grãos de variados tamanhos, fazendo com que a mistura apresente menor índice de vazios já que os grãos menores presentes ocupam os espaços entre os grãos maiores, proporcionando uma diminuição no consumo de cimento para produção de concreto.

A curva do resíduo apresentou um comportamento diferente da areia, o resíduo do mármore apresentou teores maiores de grãos grossos comparando-se com a areia utilizada, todavia o mesmo possui uma boa variação de tamanho, se encaixando dentro da zona utilizável superior, o que torna viável a sua utilização como agregado miúdo.

A granulometria da brita ficou dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 7211/2009, viabilizando o seu uso como agregado graúdo para o concreto. Para Mendes (2002), uma boa distribuição granulométrica do agregado graúdo influencia positivamente na trabalhabilidade do concreto, bem como na sua estabilidade volumétrica e resistência mecânica, a Figura 2 apresenta a curva granulométrica da brita 0.

Figura 2 - Curva Granulométrica da Brita 0.



Fonte: Autor, 2019.

A massa unitária dos agregados foi determinada conforme as especificações da ABNT NBR NM 45/2006 e os valores encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Massa Unitária dos Agregados.

Agregado	Massa Unitária (g/cm³)
Areia	1,719
Brita 0	1,565
Resíduo do Mármore	1,754

Fonte: Autor, 2019.

A finura do cimento CP V foi determinada de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 11579/2013, a Tabela 3 mostra os resultados obtidos.

Tabela 3 – Finura do Cimento.

Amostra	Massa Inicial (g)	Resíduo (g)	Finura (%)
1	50,002	1,328	2,656
2	50,006	1,299	2,598
Finura Média			2,627

Fonte: Autor, 2019.

A finura do cimento ficou abaixo do limite máximo que a norma determina (6%) para o cimento CP V.

Após determinado os parâmetros de todos os materiais que compõem o concreto, obteve-se o traço de referência descrito na Tabela 4.

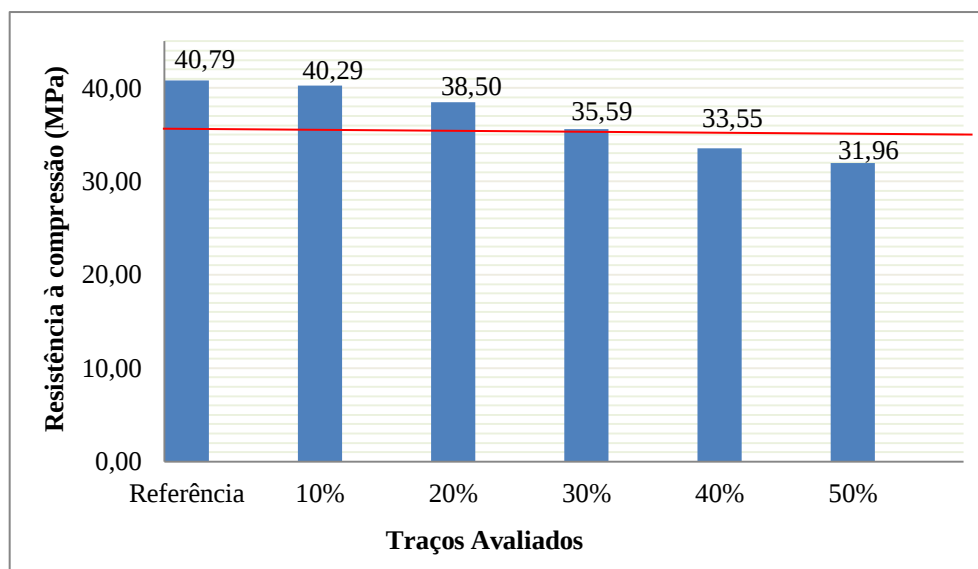
Tabela 4 – Traço de Referência.

Materiais	Traço
Cimento	1
Areia	1,60
Brita 0	2,03
Relação água/cimento	0,5

Fonte: Autor, 2019.

O ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova foi realizado de acordo com as descrições da ABNT NBR 5739/2018. A Figura 3 apresenta os valores de resistência do traço de referência e dos traços de substituições.

Figura 3 - Resultados de resistência à compressão.

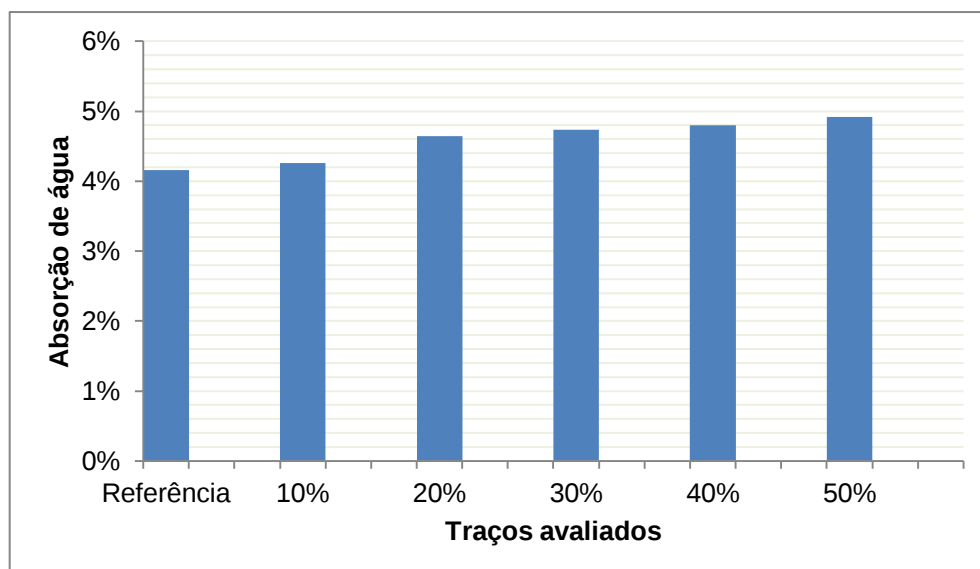


Fonte: Autor, 2019.

Analisando os resultados percebe-se que a utilização do resíduo do mármore como substituto parcial da areia reduz a resistência à compressão simples do concreto, isto ocorre segundo Soto (2017), porque o concreto com substituição dos agregados reciclados por agregados convencionais precisam de maior consumo de cimento para que se atinjam resistências análogas, devido os resíduos apresentarem menor resistência que a areia. Além disso, as mudanças das características físicas do agregado miúdo com as substituições também influenciam diretamente no desempenho do concreto.

A absorção de água do concreto foi determinada de acordo ABNT NBR 9778/2009, os resultados estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Resultados de absorção de água.



Fonte: Autor, 2019.

Os resultados mostra que existe o aumento da capacidade de absorção do concreto à medida que aumenta o teor de resíduo na mistura do agregado, o que pode ser explicado pelo fato do resíduo possuir partículas menos arredondadas que a areia, conferindo ao concreto maior volume de vazios, consequentemente, maior absorção de água.

Considerações Finais

Os resultados obtidos no ensaio de granulometria da areia e do resíduo do mármore permitiram observar os comportamentos granulométricos diferentes entre os dois materiais, onde o resíduo apresentou maiores frações de grãos graúdos, porém ambos se enquadram nos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2009.

No ensaio de resistência à compressão simples os valores obtidos mostraram que houve uma tendência de redução da resistência em relação ao concreto de referência com o aumento da fração de resíduo na mistura. Assim, os traços de 40% e 50% de substituição não se enquadram nos padrões definidos pela ABNT NBR 9871/2013, atingindo resistência menor que 35 MPa.

No que se refere ao ensaio de absorção de água, o concreto de referência apresentou

capacidade de absorção de água inferior aos concretos com substituições, todavia, o aumento desses valores foi muito baixo, este acréscimo foi devido ao agregado reciclado possuir maior absorção que o agregado natural. Entretanto, todos os traços avaliados apresentaram valores menores que 6%, atendendo ao requisito da norma.

Desta forma, para produção de pavers, a utilização do concreto com a substituição da areia pelo resíduo do mármore nas proporções de 10%, 20% e 30% é considerada viável, apresentando-se como uma solução ambiental adequada para destinação final do rejeito.

Referências

ABIROCHAS – Associação Brasileira de rochas ornamentais. **Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais**. Brasília, 2018. 34 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da Finura por Meio da Peneira 75 µm (nº 200)**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013, 4p.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015, 9p.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, 9p.

_____. **NBR 7211: Agregados para Concreto– Especificação**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 9p.

_____. **NBR 9781: Peças de Concreto para Pavimentação - Especificação e Métodos de Ensaio**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 21 p.

_____. **NM 248: Agregados - Determinação da Composição Granulométrica**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 6p.

_____. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006, 8p.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers: Produção e Controle de Qualidade**. 7. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2016. 200 p.

MENDES, S. E. S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SOTO, N. T. A. **Avaliação do uso de agregado de resíduo de construção civil nas propriedades do concreto no slump para fabricação de artefatos de concreto**. 2017. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700p.