ESTUDO DO EMPREGO DE AGREGADOS CERÂMICOS EM CONCRETO PERMEÁVEL

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081143

STRIEDER; HELENA L.[1]; DUTRA; VANESSA F. P.[1]; GRAEFF; Ângela G.[1] ; MERTEN; FELIPE R. M.[1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: HELENA.STRIEDER@UFRGS.BR

RESUMO: O estudo avaliou o desempenho mecânico e hidráulico de concreto permeável constituído por agregados reciclados de cerâmica. Visando um maior controle do material utilizado, para a produção do agregado foram britados blocos cerâmicos maciços e ajustou-se a curva granulométrica em uma faixa uniforme com diâmetro máximo de 12,5 mm. Foram analisados o procedimento de britagem e o beneficiamento. Os resultados obtidos foram comparados a um traço referência, composto unicamente por agregados naturais. Foram evidenciados o desprendimento e a elevada abrasão dos agregados reciclados. Estes fatos foram associados *à* redução dos valores de porosidade, cerca de 50% do que foi estimado no procedimento de dosagem, e ao baixo desempenho hidráulico da mistura. Entretanto, os resultados mecânicos obtidos evidenciam a potencialidade do uso de agregados cerâmicos para esse fim.

PALAVRAS-CHAVES: Concreto permeável; agregado de cerâmica; agregado reciclado.

ABSTRACT: The study evaluated the mechanical and hydrological performance of pervious concrete with brick aggregates. In order to have better control of the composition, ceramic blocks were crushed and a uniform particle size distribution with a maximum diameter of 12.5 mm was composed. The crushing and beneficiation procedure was analyzed. The results obtained were compared with the reference mixture, composed only of natural aggregates. High abrasion and detachment of recycled aggregates were evidenced. This was associated with a reduction of porosity values, around 50% lower than the estimated, and with the low hydrological performance. However, the mechanical results obtained show the potential of using brick aggregates for this purpose.

KEYWORDS: Pervious concrete; brick aggregate; recycled aggregate.

1 | INTRODUÇÃO

O intenso consumo dos recursos naturais e a geração de resíduos provenientes de demolições e sobras do processo construtivo estão diretamente ligados ao desenvolvimento das cidades e de suas economias. Se por um lado, há uma grande demanda por fontes de matérias-primas, por outro, existe a sobrecarga das áreas de aterros e diversos problemas urbanos relacionados ao descarte inadequado de entulhos. Além disso, devido à intensificação de políticas ambientais e ao crescente estímulo por uma economia circular, o reaproveitamento de resíduos da construção civil (RCC) vem ganhando importância em projetos de engenharia.

Estudos estimam que o RCC é composto entre 22 e 52% por cerâmicos(1). Ainda

chama atenção a quantidade de resíduos gerados na fabricação de tijolos, onde cerca de 13% da produção é descartada por estar em desacordo com especificações de qualidade[2]. Além disso, diferentes autores têm mostrado a viabilidade do uso de agregados cerâmicos, devido ao bom desempenho mecânico e baixo custo de reciclagem[3,4]. Esses indícios de que o material é viável para a fabricação de elementos de concreto foi um dos fundamentos para a proposição desse estudo que, todavia, buscou uma aplicação inovadora, em concreto permeável.

O concreto permeável vem se destacando devido à sua contribuição ambiental, especialmente em centros urbanos, onde os efeitos de impermeabilização do solo e ilhas de calor são mais severos. Esse concreto especial tem elevada porosidade, permitindo a passagem do fluxo de água. Assim, a principal intenção do uso do concreto permeável é controlar as águas pluviais, permitindo a infiltração e a recarga das águas subterrâneas. Estudos recentes provaram a potencialidade do uso de agregados reciclados para esse fim[5-9]. Verificou-se que desempenho depende da composição da mistura, da distribuição granulométrica, do uso de aditivos e adições. Foram encontrados valores entre 2,6 e 34,0 MPa para resistência à compressão[4,9], 1,8 e 2,1 MPa para resistência à tração na flexão[6] e coeficiente de permeabilidade entre 5,3 e 24,8 mm/s[4,6].

O desempenho hidráulico do material depende essencialmente da elevada porosidade da mistura. Por outro lado, esse é o fator que exerce especial influência em propriedades mecânicas inferiores em relação a um concreto convencional. Nesse contexto, este estudo buscou avaliar o efeito da substituição de agregados naturais por reciclados de cerâmica em relação às características mecânicas e hidráulicas. Dessa forma, os objetivos estão divididos em duas fases: (i) entendimento e controle das propriedades físicas do agregado cerâmico e (ii) avaliação do comportamento de misturas recicladas através de ensaios laboratoriais.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI: MAX). O agregado natural é de origem basáltica, com massa específica de 2,90 kg/dm³, absorção de 0,29% e granulometria variando de 2,4 a 12,5 mm. O agregado reciclado de cerâmica apresenta massa específica de 2,50 kg/dm³ e absorção de 16,6%.

2.2 Processo de beneficiamento do agregado reciclado

Os agregados cerâmicos foram produzidos com o auxílio de um britador terciário do tipo cônico, obtendo fragmentos com diâmetro máximo de 36 mm. Uma vez que a distribuição granulométrica influencia fortemente as propriedades da mistura permeável, o material foi peneirado e misturado de acordo com a distribuição granulométrica do agregado natural.

Devido à elevada porosidade e capacidade de absorção de água dos agregados reciclados, o seu uso pode interferir na relação água/cimento (a/c), na ligação entre as partículas e na trabalhabilidade das misturas[8]. Desta forma, avaliou-se a absorção do agregado cerâmico ao longo do tempo de acordo com o procedimento descrito por Leite[10]. Através da Figura 1 é possível observar que o material absorve mais de 50%

da massa total de água antes dos primeiros 20 min submersos. Levando isso em conta, os agregados graúdos foram pré-umedecido durante 30 min para serem misturados na condição saturado superfície seca.

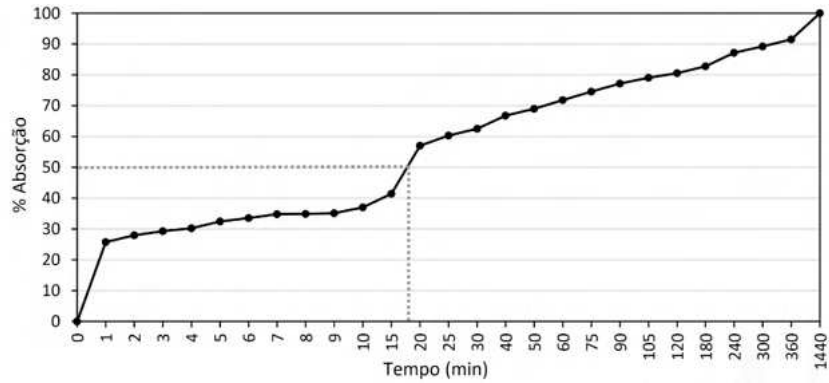

Figura 1 – Curva de absorção do agregado reciclado cerâmico ao longo do tempo

2.3 Traços avaliados

Empregou-se a composição de 1: 3 (cimento: agregados), relação a/c de 0,3 e porosidade estimada de 20%. Foi utilizado o método de dosagem IPT/EPUSP[11]. A mistura composta unicamente por agregado natural (NA) foi utilizada como referência. A substituição pelo agregado reciclado foi feita em volume, correspondendo a mistura CER.

2.4 Moldagem dos corpos de prova

O procedimento de concretagem do concreto permeável seguiu aquele recomendado por Costa[12]. Para cada traço foram moldados seis corpos cilíndricos de 100x200 mm por compactação dinâmica com um soquete de 2,5 kg em três camadas, e três vigotas de 100x100x400 mm, compactadas com um rolo metálico de 48,8 kg/m em uma única camada. A Figura 2 apresenta o aspecto das amostras compostas pelo agregado cerâmico em estudo.



Figura 2 – Aspecto das amostras referentes a mistura reciclada

2.5 Ensaios realizados

Foram determinadas a porosidade total e a densidade no estado endurecido, seguindo a ASTM C1754[13]. O coeficiente de condutividade hidráulica foi determinado de acordo com a ASTM D5084[14], utilizando um permeâmetro de carga variável. O ensaio de taxa de infiltração foi uma adaptação da ASTM C1701[15], conforme procedimento descrito por Costa *et. al*[12]. Os ensaios físicos e hidráulicos ocorreram aos 25 dias de cura.

A determinação da resistência à compressão axial e à tração na flexão seguiu o procedimento da NBR 5739[16] e NBR 12142[17], respectivamente. A determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de *Poisson* seguiram a NBR 8522[18]. Os ensaios mecânicos ocorreram aos 28 dias. Além disso, a resistência a compressão axial também foi determinada aos 7 dias.

3 | RESULTADOS

3.1 Ensaios físicos

Na Figura 3 está apresentado o comparativo entre os resultados de porosidade total para a mistura de agregado reciclado e a referência. Verificou-se que a porosidade média atingida para a mistura composta por agregados cerâmicos foi de 9,3%, aproximadamente 53% inferior à estimada no procedimento de dosagem. Isso pode ser explicado devido à elevada abrasão e quebra do agregado cerâmico durante a compactação das amostras, o que impacta na redução de interconectividade dos poros e densificação das misturas. Além disso, o resultado médio de densidade no estado endurecido da mistura reciclada foi de 1881 kg/m3, cerca de 12% inferior à referência, conforme pode ser observado na Figura 4. Essa redução já era esperada uma vez que a densidade do agregado cerâmico é inferior à do agregado natural.

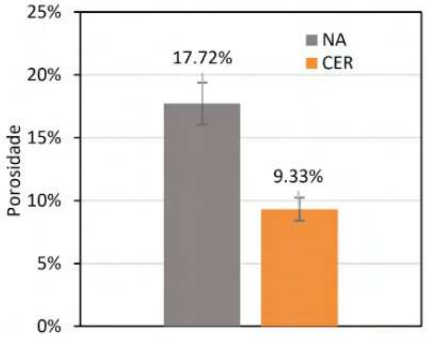

Figura 3 – Porosidade média e desvio padrão

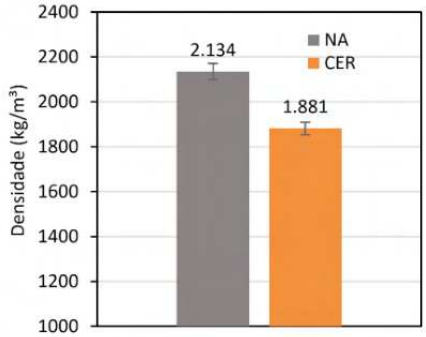

Figura 4 – Densidade média e desvio padrão

3.2 Ensaios hidráulicos

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios de taxa de infiltração (Figura 5) e coeficiente de condutividade hidráulica (Figura 6). Ambos os resultados são inferiores para a mistura com agregados reciclados. Este fato pode ser explicado pela excessiva redução da porosidade e selamento da superfície causada pela compactação, o que dificulta a passagem de água.

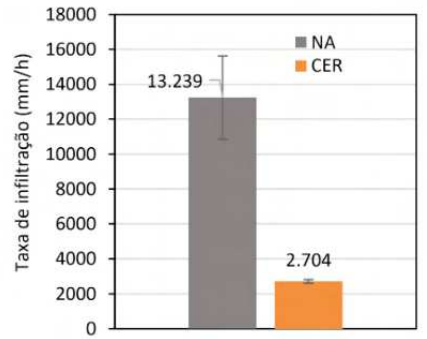

Figura 5 – Taxa de infiltração média

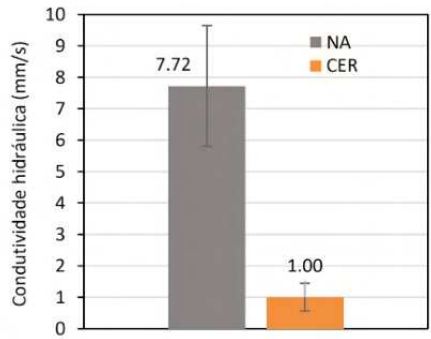

Figura 6 – Condutividade hidráulica média

O valor médio de taxa de infiltração foi de 2.704 mm/h, correspondendo a uma redução de 87% em relação à referência. Para a condutividade hidráulica, verificou-se média de 1 mm/s, o que representa uma redução de aproximadamente 80%. Esse valor médio corresponde ao mínimo indicado pela NBR 16.416[19] para ser usado como revestimento permeável de pavimentos. Os valores de coeficiente de condutividade hidráulica obtidos são inferiores aos encontrados na literatura para misturas permeáveis compostas exclusivamente por agregados cerâmicos. Foram encontrados, por exemplo, resultados variando ente 5,3 e 19,1 mm/s[4] e, em outro estudo, foi atingida uma média de 24,8 mm/s[6].

3.3 Ensaios mecânicos

A Figura 7 apresenta os resultados médios e desvio padrão de resistência à compressão axial para ambas as misturas nas idades de cura de 7 e 28 dias. Os valores obtidos para a mistura de agregados reciclados ficaram entre 13,37 e 15,41 MPa, sendo que a mistura referência atingiu resistência média de 22,06 MPa aos 28 dias de cura. Foi verificado que aos 7 dias de cura, a mistura reciclada já estava com 88% da resistência final. De acordo com a ACI 522R[20], a resistência à compressão pode variar entre 3,5 e 28 MPa dependendo do uso. Além disso, os resultados obtidos estão dentro da faixa de valores encontrados na literatura[4,6].

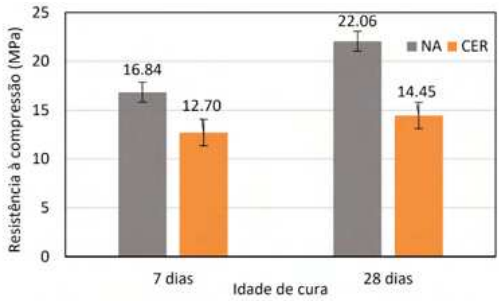

Figura 7 – Resistência à compressão axial

Foi determinado o módulo elástico à compressão e, concomitantemente, foram medidas as deformações para determinação do coeficiente de *Poisson*, cujos resultados estão na Figura 8. O valor médio de módulo ficou em 7,87 MPa, representando uma redução de 63,5% em relação à referência. O coeficiente de *Poisson* atingiu um valor de 0,14, enquanto para a mistura natural foi de 0,12. Essa diferença pode ser explicada uma vez que a mistura reciclada, devido a porosidade reduzida, deforma menos ao receber as tensões.

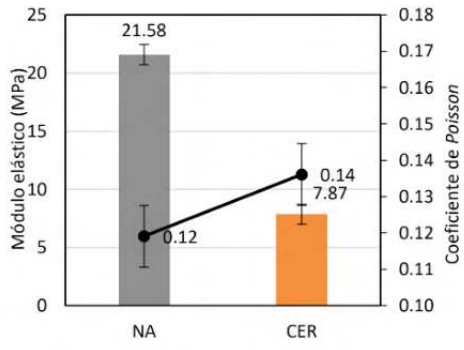

Figura 8 – Módulo elástico e *Poisson*

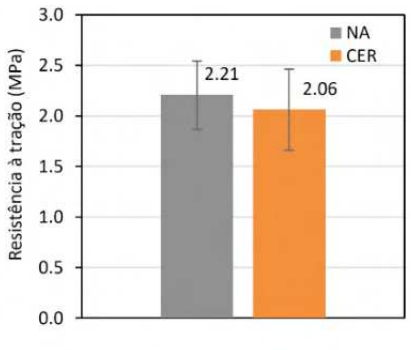

Figura 9 – Resistência à tração na flexão

Na Figura 9 estão apresentados os resultados de resistência à tração na flexão. Os valores obtidos variaram entre 1,78 e 2,35 MPa e, através de análise de variância (ANOVA) verificou-se que esses resultados não divergem da referência, que atingiu média de 2,21 MPa. É importante destacar que a norma brasileira para pavimentos de concreto permeável[19] recomenda resistência à tração na flexão característica de 2 MPa para o uso como concreto permeável moldado no local. Além disso, os resultados dessa pesquisa estão dentro da faixa de valores obtidos por outros autores, onde foi encontrado, por exemplo, média de 2,14 MPa para tração na flexão para misturas com 100% de agregados cerâmicos[6].

4 | CONCLUSÕES

A pesquisa avaliou a possibilidade do uso de agregados cerâmicos para a produção de concreto permeável através de ensaios laboratoriais físicos, hidráulicos e mecânicos. Inicialmente, o elevado teor de absorção de água do material evidencia a necessidade de que os agregados reciclados sejam submetidos a uma pré-molhagem como etapa de beneficiamento. Este procedimento evita que absorvam a água da mistura, o que provocaria a redução da relação água/cimento, a escassez de cobrimento, a fraca ligação entre as partículas e a consequente perda de trabalhabilidade.

Também foi possível observar elevada redução nos resultados de porosidade total em relação ao projetado. Isso está diretamente relacionado aos baixos valores de taxa de infiltração e coeficiente de condutividade hidráulica da mistura reciclada em relação à referência. Este fato pode ser explicado devido à elevada abrasão dos agregados cerâmicos durante a moldagem e compactação dos corpos de prova, especialmente na superfície, causando a densificação das misturas e a redução da interconectividade dos vazios, o que dificulta a percolação de água.

Por outro lado, os resultados de resistência mecânica obtidos mostraram a potencialidade do uso de agregados cerâmicos em misturas permeáveis. Entretanto, através da análise dos resultados obtidos, recomenda-se testar outros teores de substituição de agregados naturais por cerâmicos, ou ainda, rever o método de compactação para minimizar o efeito da quebra devido à característica frágil do material reciclado.

REFERÊNCIAS

1. L. Delongui. **Determinação de parâmetros mecânicos para dimensionamento de pavimentos com resíduos de construção e demolição** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2016).

2. A.R. Mazumder, A. Kabir, N. Yazdani. Performance of Overburnt Distorted Bricks as Aggregates in Pavement Works, J. **Civil Engineering Journal**. 2006.

3. A.C.J. Tam, V. W.Y.; Mahfooz S.; Evangelista. A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). **Construction and Building Materials**. 2018.

4. B. Debnath, P.P. Sarkar. Permeability prediction and pore structure feature of pervious concrete using brick as aggregate. **Construction and Building Materials**. 2019.

5. H. El-Hassan, P. Kianmehr, S. Zouaoui. Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag. **Construction and Building Materials**. 2019.

6. I. Ulloa-Mayorga, V. A. *et. al*. Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. **Ingeneria e Investigation**. 2018.

7. S.P. Yap, P.Z.C. *et. al*. Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates, **Journal of Cleaner Production**. 2018.

8. P.M. Thomas, J.; Thaickavil, N.; Wilson. Strength and durability of concrete containing recycled concrete aggregates. **Journal of Building Engineering**. 2018.

9. P. Zaetang, Y. et al., Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**. 2016.

10. M.B. Leite. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.

11. HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem do concreto**. [s.l: s.n.].

12. L.C.P. Costa, F. B. P. *et. al*. Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. **Ibracon Structures and Materials**. 2018.

13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1754**: Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. 2012.

15. _____. **ASTM D5084**: Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. 2016.

16. _____. **ASTM C1701**: Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. 2017.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2018.

18. _____. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. 2010.

19. _____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. 2017.

20. _____. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. 2015.

21. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R**: Report on Pervious Concrete. 2010.