XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Influência da técnica de capeamento na resistência à compressão do concreto permeável

Influence of the capping technique on the compressive strengh of pervious concrete

Sarah Bueno de Castro
Universidade Federal de Goiás| Goiânia | Brasil | sarahbueno@discente.ufg.br
Renato Costa Araújo
Instituto Federal de Goiás/Universidade Federal de Goiás| Goiânia | Brasil | renato.costa@ifg.edu.br
Helena Carasek
Universidade Federal de Goiás| Goiânia | Brasil | hcarasek@ufg.br

Resumo

O concreto permeável tem se destacado como solução urbanística e sustentável nos últimos anos. Apesar dos avanços, o conhecimento sobre os métodos de produção, aplicação e controle tecnológico ainda é incipiente. Esta pesquisa contribui para o estudo sobre a influência da técnica de capeamento dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão desse concreto. Os métodos de capeamento adotados foram: gesso, enxofre, argamassa e Neoprene, com corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm. A análise estatística apontou resultados com significativa variabilidade dentre os diferentes materiais estudados. Considerando os aspectos técnicos e ambientais recomenda-se o uso de argamassa para o capeamento dos CPs de concreto permeável.

Palavras-chave: Concreto permeável. Capeamento. Resistência à compressão. Pavimento permeável.

Abstract

Pervious concrete has stood out as an urban and sustainable solution in recent years. Despite the advances, knowledge about production methods, application and technological control is still incipient. This research contributes to the study of the influence of capping techniques of specimens for the compressive strength test of this concrete. The capping methods adopted were: gypsum, sulfur, mortar and Neoprene, with 100 x 200 mm cylindrical specimens. The statistical analysis showed results with significant variability among the different materials studied. Considering the technical and environmental aspects, the use of mortar is recommended for the capping of the permeable concrete CPs.

Como citar:
CASTRO, S. B.; ARAÚJO, R. C.; CARASEK. H. Influência da técnica de capeamento na resistência à compressão do concreto permeável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-9.

Keywords: Pervious concrete. Capping. Compressive strength. Pervious pavement.

INTRODUÇÃO

Os pavimentos em concreto permeável são modelos articulados que tem se destacado nos últimos anos como soluções importantes, resilientes e sustentáveis para o manejo de águas pluviais das cidades. Sua estrutura admite tipicamente uma porosidade entre 15 e 35% [1], o que favorece a percolação de água e reduz os efeitos dos picos de chuva em centros urbanos. Este revestimento permeável quando projetado e instalado corretamente, pode apresentar uma diversidade de aplicações, geralmente sem função estrutural tais como: pavimentos de baixo tráfego de veículos, calçadas, estacionamentos, estruturas hidráulicas, barreiras sonoras, estabilização de taludes, sub-base de pavimentos convencionais, pisos, tratamento de água e como isolante térmico [2].

Apesar dos avanços em âmbito nacional e internacional, o conhecimento técnico no que se refere aos métodos de produção, aplicação e controle tecnológico do concreto permeável, ainda não é amplo [3], isto é, ainda não existem referências normativas para a padronização dos procedimentos em laboratório. Para isso, pesquisadores têm se baseado em adaptações de estudos pré-existentes e normas técnicas aplicáveis ao concreto comum, podendo resultar em representações inconsistentes, visto que os métodos dos ensaios técnicos não atendem às propriedades intrínsecas do concreto permeável.

Neste ponto, dentre as características técnicas, a resistência à compressão é um importante parâmetro para o controle de qualidade do material que está sendo produzido. Todavia, devido à estrutura porosa e superfície irregular das amostras [4], é prevista a aplicação de sistemas de regularização da superfície de forma que os desvios de planicidade possam ser corrigidos e que as tensões de compressão possam ser distribuídas uniformemente [5].

São comuns os sistemas de capeamento colado que recorrem a materiais que se aderem de forma física ou química à superfície do corpo de prova, como no caso do enxofre, gesso, pasta de cimento e argamassa [6]. Há também os sistemas não colados que compreendem o uso de elastômeros como o Neoprene, podendo estar confinado com discos metálicos ou não, e os sistemas de desgaste mecânico, que para aplicação em concreto permeável não são indicados por não garantirem a integridade estrutural, podendo prejudicar o ensaio técnico [4].

Nesse contexto, a presente pesquisa busca avaliar a influência do capeamento utilizando gesso, enxofre, argamassa e Neoprene na resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos em concreto permeável, de modo a selecionar o método que melhor atende ao desempenho mecânico.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se cimento Portland CP V-ARI, rochas de micaxisto britada como agregado graúdo e água para a produção de concreto permeável.

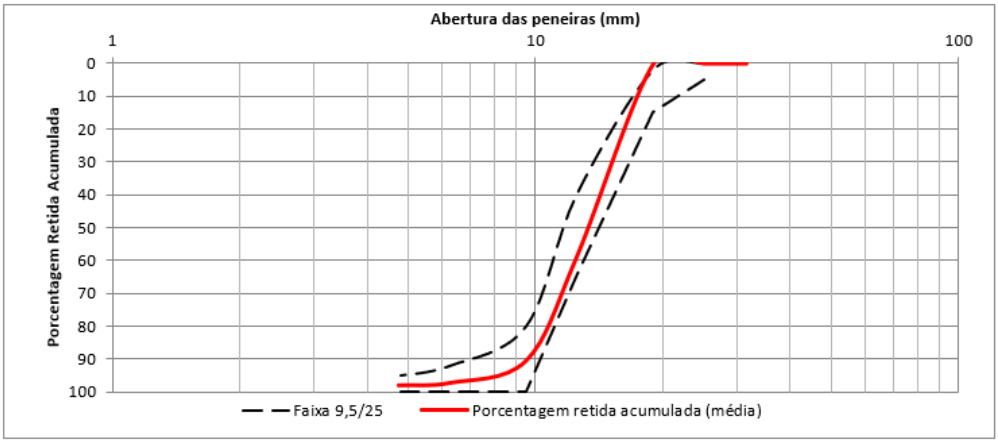
As propriedades físicas e a distribuição granulométrica dos agregados graúdos estão representadas na Tabela 1 e na Figura 1, respectivamente.

Tabela 1: Caracterização do agregado graúdo.

Propriedade	Resultado	Método
Massa específica (g/cm³)	2,74	[7]
Massa unitária (kg/m³)	1392,92	[8]
Absorção de água (%)	0,47	[7]
Diâmetro máximo (mm)	19,0	[9]

Fonte: o autor.

Figura 1: Faixa granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: o autor.

A dosagem do concreto permeável foi baseada no método do *American Concrete Institute* [1] cuja metodologia é bastante consagrada no meio técnico científico. O consumo de materiais utilizado na pesquisa está representado na Tabela 2.

Tabela 2: Proporção de materiais por m³.

Cimento Portland (kg/m³)	Agregado graúdo (kg/m³)	Água (kg/m³)	Relação pasta/agregado
462,0	1386,0	138,6	0,43

Fonte: o autor.

O procedimento de mistura foi estabelecido baseando-se em estudos técnicos [10], dado que não há normalizações sobre a tecnologia de produção de concretos permeáveis em âmbito laboratorial. Inicialmente toda a fração de agregado graúdo e parte da água foram lançados na betoneira, misturando por cerca de 1 minuto até umedecer a superfície dos agregados. Em seguida, foi adicionado o cimento e o restante da água, misturando por mais 3 minutos. Por fim, efetuou-se a conferência tátil-visual de modo a verificar se a mistura foi suficientemente umedecida para formar uma ligação adequada de agregado-pasta, conforme o método *Ball-In-Hand Test* [11].

Após esta etapa, os corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm foram moldados em 2 camadas regulares com o auxílio do martelo *Proctor* (2,5 kg e 305 mm de altura de queda), aplicando-se 20 golpes por camada. Esta metodologia foi escolhida por exibir resultados mais consistentes e com baixa variabilidade, apesar da estrutura porosa [12], [5]. Para o processo de cura, as amostras foram colocadas em câmara úmida por 26 dias. A Figura 2 ilustra o processo de produção do concreto permeável.

Figura 2: (a) Conferência tátil-visual da mistura. (b) Preparação das fôrmas. (c) Amostras após a cura em câmara úmida.



(a) (b) (c)

Fonte: o autor.

Tendo em vista a inexistência de normas técnicas ou procedimentos específicos para o capeamento e todo o controle tecnológico do concreto permeável, foram produzidos 24 corpos de prova cilíndricos em um único lote, moldados pelo mesmo operador para que não houvesse diferenças entre as amostras. Em seguida, foram utilizados 6 corpos de prova para cada sistema de capeamento: gesso, enxofre, argamassa e Neoprene, afim de selecionar o método que melhor atende ao desempenho mecânico.

Para o sistema de capeamento colado, utilizou-se gesso pedra tipo III com alta resistência mecânica, enxofre duplamente ventilado, conforme as orientações de preparo do fabricante, e traço 1:1 (cimento: areia) com relação água/cimento 0,40 para o preparo da argamassa. Em seguida, as misturas foram colocadas em capeadores de corpos de prova com uma fina película de óleo vegetal para evitar a aderência das amostras com a superfície plana.

Por fim, para o sistema de capeamento não colado, utilizou-se duas almofadas de Neoprene com dureza 60 *Shore* e discos metálicos. Os corpos de prova capeados estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3: (a) Corpos de prova capeados com gesso, enxofre e argamassa e com o uso de (b) Neoprene reforçado com discos metálicos.



(a) (b)

Fonte: o autor.

Ressalta-se que a retificação das faces dos corpos de prova por desgaste mecânico não foi considerada, visto que a estrutura de concreto permeável não apresentou estabilidade suficiente, o que poderia causar a quebra de alguns agregados e comprometer o ensaio de resistência à compressão. As amostras foram capeadas de forma que apresentassem boa aderência à superfície, compatibilidade química com o concreto permeável, fluidez durante a aplicação e acabamento liso e plano após o endurecimento [13], [6].

Por último, todos os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias [14], analisando também as formas de rupturas ocorridas nos corpos de prova.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 3 expressa as médias, desvio padrão e coeficiente de variação para os resultados de resistência à compressão, considerando as técnicas de capeamento.

Tabela 3: Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a resistência à compressão (MPa) dos corpos de prova capeados por diferentes técnicas.

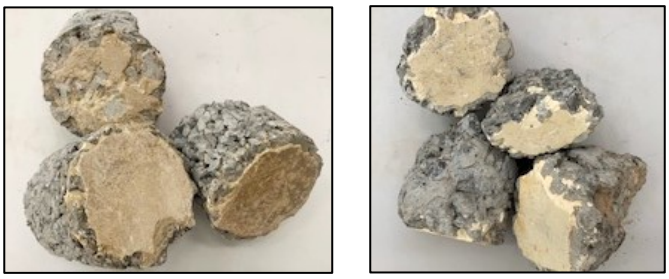
Análise estatística	Capeamento com gesso	Capeamento com enxofre	Capeamento com argamassa	Capeamento com Neoprene (com reforço metálico)
Média (MPa)	17,71	15,73	17,48	10,70
Desvio padrão	2,57	0,58	2,10	0,87
CV (%)	14,5	3,7	11,0	8,1

Fonte: o autor.

Observa-se que dentre as técnicas de capeamento, o enxofre foi o material que apresentou o menor coeficiente de variação entre os resultados, 3,7%, e resistência à compressão de 15,73 MPa. Isso é explicado pelo fato do material ser utilizado no estado líquido, fazendo com que o enxofre preencha de forma eficiente e uniforme os poros e reentrâncias da superfície dos corpos de prova em concreto permeável [15].

Apesar das vantagens como boa aderência, rápido endurecimento, menor dispersão entre resultados e elevada produtividade em curto intervalo de tempo [16], a dificuldade do uso de enxofre está na liberação de gases tóxicos durante o processo de fusão, tornando-o insalubre para atividades laborais. Além disso, verificou-se que o uso de enxofre, assim como o gesso, não possibilita a completa reutilização ou reciclagem dos resíduos, em função dos materiais permaneceram impregnados na superfície porosa do concreto permeável (Figura 4), dificultando sua retirada para a separação e destinação final adequada, ao contrário do uso de argamassa que se destaca pelo viés econômico e ambiental, apesar do endurecimento ocorrer em até 10 horas.

Figura 4: Resíduos de (a) enxofre e (b) gesso sob a superfície porosa das amostras após o ensaio de resistência à compressão.



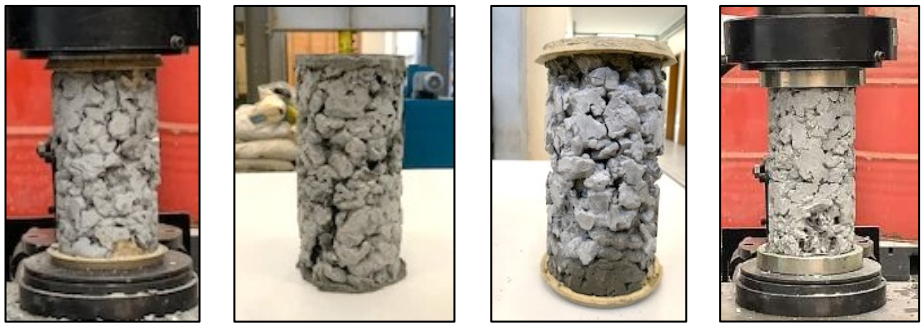
(a) (b)

Fonte: o autor.

Em relação ao capeamento feito com gesso e argamassa, ainda que os resultados tenham apresentado coeficiente de variação na faixa de 14,5% e 11,0%, respectivamente, os valores de resistência à compressão foram os mais elevados, entre 17,71 MPa e 17,48 MPa, respectivamente, indicando também a boa aderência com a superfície do concreto permeável e distribuindo melhor a força axial aplicada.

Por outro lado, embora o sistema de capeamento não colado (Neoprene) seja o de maior facilidade de execução, o método apresentou o menor resultado para a resistência à compressão, na ordem de 10,70 MPa. De acordo com estudos, o uso de elastômeros como o Neoprene, reforçados ou não com discos metálicos, não são suficientes para distribuir as tensões de compressão [17], dado que o preenchimento da superfície do concreto permeável é irregular, afetando a forma de ruptura dos corpos de prova e ocasionando a redução da resistência mecânica [6]. A Figura 5 ilustra a forma de ruptura dos corpos de prova em concreto permeável.

Figura 5: Forma de ruptura de corpos de prova capeados com (a) gesso, (b) argamassa, (c) enxofre e (d) Neoprene.



(a) (b) (c) (d)

Fonte: o autor.

Nota-se na Figura 5 que quando a amostra é ensaiada com o uso de Neoprene, o rompimento ocorre na base do corpo de prova, isto é, uma ruptura local demonstrando que a aplicação de carga foi irregular [5], enquanto nos sistemas de capeamento colado o modo de ruptura é do tipo cisalhada ou colunar, apontando uma distribuição mais uniforme da carga aplicada.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com os resultados, técnica estatística que verifica se há diferença entre a distribuição dos grupos para cada categoria de capeamento, resumida na Tabela 4. Constatou-se que o *valor-P* foi inferior ao nível de significância estabelecido (*valor-P* < 0,05), indicando que a distribuição de pelo menos uma das médias difere das demais.

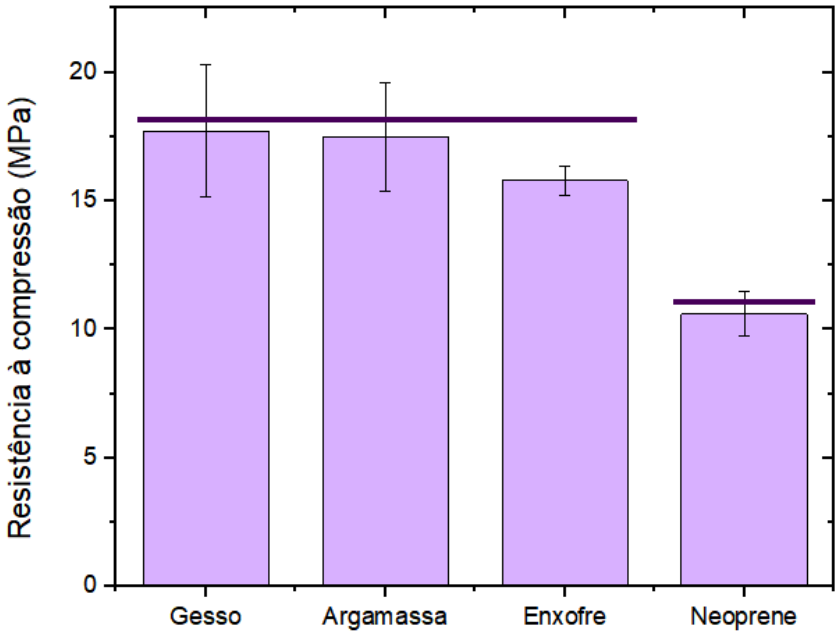
Tabela 4: Análise de variância (ANOVA) - comparação múltipla de média para fator único.

ANOVA	F observado	*Valor-P*	F crítico
Amostras do método	8,703141	0,00671	4,066181

Fonte: o autor.

Pelo Teste de Duncan (Figura 6), ao nível de 5% de probabilidade, é possível verificar que, dentre as técnicas de capeamento, existe diferença significativa na resistência à compressão em relação ao uso de Neoprene, mas não em relação ao uso de gesso, argamassa ou enxofre, demonstrando que os sistemas de capeamento colado permaneceram no mesmo grupo de análise das médias de resistência à compressão.

Figura 6: Influência das técnicas de capeamento na resistência à compressão.



Fonte: o autor.

Dessa forma, as médias ligadas por uma mesma barra não diferem estatisticamente entre si, constatando-se que os sistemas de capeamento colado atendem melhor à distribuição de carga para o ensaio de resistência à compressão de concretos permeáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados verificou-se que a técnica de capeamento é um fator que influencia diretamente na resistência à compressão do concreto permeável. Dessa forma, as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

– O sistema de capeamento não colado, a partir do uso de Neoprene com reforço metálico, não é recomendado para o ensaio de resistência à compressão do concreto permeável, visto que a técnica não distribui de forma uniforme as tensões de compressão, reduzindo a resistência mecânica e afetando a forma de ruptura das amostras.

– Os sistemas de capeamento colado utilizando gesso, argamassa e enxofre apresentaram os melhores resultados para a resistência à compressão, podendo ser utilizados em concretos permeáveis por proporcionarem superfícies mais regulares, permitindo a distribuição uniforme das tensões nos corpos de prova.

Por fim, considerando a economia circular, o uso de argamassa para o capeamento de amostras em concreto permeável se destaca pelo viés técnico (altas resistências e moderada variabilidade), além do econômico e do ambiental, sendo um material de uso comum na indústria da construção, ele possibilita a completa reutilização ou reciclagem dos resíduos dos corpos de prova para aplicação de maneira nobre e sustentável na própria construção civil.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil (LABITECC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Bolsa PQ e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R**: Pervious Concrete. Farmington Hills, 2010.

[2] ZHONG, R; LENG, Z.; POON, C. Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: a start of the art and state of the practice review. **Construction and Buildings Materials**, v. 183, p. 544 - 553, 2018.

[3] PIERALISI, R. **Characterization and modelling of pervious concrete**, 2016. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção) – Barcelona Tech, Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, 2016.

[4] BATEZINI, R. **Estudos preliminares de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

[5] COSTA, F. B. P. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

[6] MARCO, F. F.; REGINATTO, G. M.; JACOSKI, C. A. Análise do capeamento de corpos de prova utilizando Neoprene com e sem reforço metálico. In: IV Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 2003, São Paulo.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

[10] STRIEDER, H. L.; DUTRA, V. F. P.; GRAEFF, A. G.; NÚÑEZ, W. P.; MERTEN, F. R. M. Performance evaluation of pervious concrete pavements with recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 315, 2022.

[11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C860**: Standard Test Method for Determining the Consistency of Refractory Castable Using the Ball-In-Hand Test. In: Annual Book of ASTM Standards, 2015.

[12] RISSON, K. D. B. S.; SANDOVAL, G. F. B.; PINTO, F. S.C.; CAMARGO, M.; MOURA, A.C; TORALLES, B. M. Molding procedure for pervious concrete specimens by density control. Case Studies in Construction Materials, v. 15, p. e00619, 2021.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

[15] BIGOTTO, S. A. M. **Estudo de traços de concreto permeável com adição de areia e sílica**, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.

[16] BOESING, R.; PHILIPPSEN, R. A.; LUZ, C.A. Influência do material de capeamento na resistência à compressão dos corpos de prova de concreto e argamassa: comparação entre enxofre, pasta de cimento e pasta de gesso. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela.

[17] STRIEDER, H. L. **Estudo do uso de agregados de concreto reciclado em concreto permeável para pavimentos**, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.