

REVISÃO SOBRE A AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CONCRETOS PERMEÁVEIS

SAMUEL BANDON LEE¹; JOSÉ AMÉRICO A. SALVADOR FILHO²,

1 Graduando em Engenharia Civil, Bolsista PIBIC-AF, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, brandon.lee@aluno.ifsp.edu.br

2 Professor Dr., Engenharia Civil, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, jasalvador@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção

RESUMO: Atualmente, com o grande crescimento da urbanização, a água que deveria se infiltrar no solo acaba ficando sobre as calçadas, vias públicas, estacionamentos, entre outros que, geralmente são feitos de concreto, que é um dos materiais mais utilizados no Brasil e influencia na impermeabilização das superfícies, fazendo com que o regime hidrológico seja afetado diretamente. Uma solução para esse problema é fazer com que o concreto seja uma estrutura drenante com um alto índice de vazios interligados que permitem a passagem de um grande volume de água, auxiliando na condução da água para os sistemas de água pluvial ou ainda para o abastecimento dos lençóis freáticos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a produção científica recente sobre o estudo das propriedades físicas e mecânicas de misturas de concreto permeável de acordo com a NBR 16416: 2015 ou outras normas correlatas. Foi realizada uma seleção criteriosa dos artigos recentemente publicados e a análise comparativa dos resultados obtidos pelos autores permitem o entendimento da variabilidade nas propriedades do material influenciada pela dosagem e materiais utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto permeável.

REVIEW ON THE EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND PERMEABILITY COEFFICIENT OF PERMEABLE CONCRETES

ABSTRACT: On present days, with the great growth of urbanization, the water that should infiltrate the soil ends up on the sidewalks, public roads, parking lots, among others, which are generally made of concrete, which is one of the most used materials in Brazil. However it ends up causing waterproofing surfaces, leading the hydrological regime to be directly affected. A solution to this problem is to make the concrete a draining structure with a high index of interconnected leaks that allows the passage of a large volume of water, assisting in water conduction for rainwater systems or even contributing for phreatic waters supply. This work aims to evaluate the recent scientific literature on the study of the physical and mechanical properties of permeable concrete mixtures according to NBR 16416: 2015 or correlated codes. A careful selection of the recently published articles was carried out and the comparative analysis of the results obtained by the authors allows the understanding of the material properties variability influenced by the dosage and constituent materials.

KEYWORDS: concrete permeable.

INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras têm um grande desafio quando o assunto é drenagem de águas pluviais, por conta das inundações que causam danos ao meio ambiente e riscos à saúde humana. Atualmente, com o grande crescimento da urbanização, a água que deveria se infiltrar no solo acaba ficando sobre as calçadas, vias públicas, estacionamentos, entre outros que, geralmente são feitos de concreto, que é um dos materiais mais utilizados no Brasil e tem influência direta na impermeabilização das superfícies, fazendo com que o regime hidrológico seja afetado diretamente.

Uma solução para esse problema é fazer com que o concreto seja uma estrutura drenante, auxiliando na condução da água para os sistemas de água pluvial ou ainda para o abastecimento dos lençóis freáticos (ARAÚJO, 2017). O concreto drenante também denominado concreto permeável ou poroso foi utilizado pela primeira vez em 1852, na Europa, e é um tipo de concreto executado com uma mistura de aglomerantes, agregado graúdo (brita) e água, muito dificilmente é adicionado

agregado miúdo, pois o objetivo desse tipo de concreto é obter um alto índice de vazios interligados que permitem a passagem de um grande volume de água. Ao contrário do concreto comum, que tem como definição de qualidade atingir alta resistência mecânica, a qualidade do concreto drenante é definida pela sua porosidade, quantidade de infiltração de água e seu peso, onde a permeabilidade é inversamente proporcional à resistência, logo, esse tipo de concreto tem certas limitações e é indicado apenas para locais onde a resistência é menos relevante. Para atingir maior porosidade é utilizado agregado de mesma granulometria, obtendo um volume de vazios na maioria das vezes situados entre 15% e 30% do volume total. O traço utilizado varia de acordo com a resistência mecânica pretendida e finalidade de utilização (BOTTEON, 2017).

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa utilizou-se como materiais: Cimento Portland CP II, brita 1, água e gesso, onde o gesso foi usado apenas para a execução do capeamento dos corpos de prova (CP's). Para esta pesquisa, utilizou-se como plataformas de busca: o google acadêmico e o Portal de periódicos CAPES/MEC, por meio das palavras chaves: Concreto permeável, concreto drenante e coeficiente de permeabilidade. Os artigos selecionados foram aqueles com data de publicação superior à 2015, com exceção daqueles de maior relevância sobre o tema.

Foram realizados testes pilotos com base em uma revisão bibliográfica focada nos traços utilizados pelos autores, onde a partir disso se determinou que a melhor faixa de variação para cimento/agregado é de 1:4 à 1:5,5. Também foi realizado uma revisão bibliográfica com foco nos métodos utilizados e nos resultados obtidos para os ensaios de resistência à compressão, resistência a tração na flexão e coeficiente de permeabilidade.

Os procedimentos de moldagem, cura e capeamento dos CP's foram realizados de acordo com as especificações da NBR 5738/2015, e os ensaios de resistência a compressão foram executados de acordo com a NBR 5739/2018.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das palavras chaves, obteve-se 17 artigos, onde foram selecionados 5 por meio do resumo e 9 pela leitura do texto, os demais foram descartados por utilizar materiais diferentes dos utilizados nessa pesquisa, como aglomerante de outro tipo e agregados asfálticos. A tabela 1 mostra os traços utilizados pelos autores estudados na revisão bibliográfica juntamente com os traços executados em laboratório nesta pesquisa, onde temos o consumo de cimento (Kg/m^3), o fator água/cimento (a/c), a resistência à compressão após os 28 dias (f_c), a resistência à tração na flexão após os 28 dias (f_t) e o coeficiente de permeabilidade (cm/s) seguido pelo método de cálculo utilizado pelo autor.

Tabela 1- Traços avaliados.

Referências	Traços	a/c	C	f_c	f_t	Coefi. perm.	
	(cimento:brita)		(kg/m^3)	(MPa)	(MPa)	(cm/s)	Modelo
(BATEZINI, 2013)	1:4,44	0,30	374,0	-	2,13	0,14	Lei de Darcy
(TAVARES; KAZMIERCZAK, 2016)	1:2,39	0,32	-	19,43	-	0,00	Lei de Darcy
(ARAÚJO, 2017)	1:4,5	0,23	-	32,40	-	0,73	NBR 16416/2015
(SCHWETZ, 2015)	1:3	0,30	-	6,78	-	0,01	Lei de Darcy
(BOTTEON, 2017)	1:4	0,35	400,0	-	-	0,31	NBR 14545/2000
(FAGUNDES <i>et al.</i> , 2016)	1:4	0,30	-	-	5,26	0,30	NBR 13292/1995
(XAVIER, 2019)	1:3	0,25	-	-	2,76	0,95	NBR 16416/2015
(CARE, 2019)	1:4	0,30	-	-	2,52	0,44	Lei de Darcy
(ZAETANG, 2016)	1:4,54	0,24	-	-	-	0,77	Lei de Darcy
(autores)	1:4	0,35	358,1	6,52	-	-	-
	1:4,5	0,35	318,3	6,05	-	-	-
	1:5	0,35	286,5	5,22	-	-	-
	1:5,5	0,35	260,4	4,65	-	-	-

Resistência à compressão

Apenas três dos artigos abordados executaram ensaios de resistência à compressão, onde os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 5739/2018. Os resultados obtidos são expressos na tabela 1. A partir dos testes elaborados com base na revisão bibliográfica, foram moldados 24 corpos de provas cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, nos traços 1:4 (fig-1a), 1:4,5 (fig-1b), 1:5 (fig-1c) e 1:5,5 (fig-1d), onde todos tinham $a/c = 0,35$. Foram 6 corpos de prova para cada traço e tendo sua resistência à compressão avaliada após os 28 dias. Os resultados obtidos nos ensaios são listados na tabela 1 e apresentados no gráfico 1a junto com a resistência à compressão obtida pelos autores:

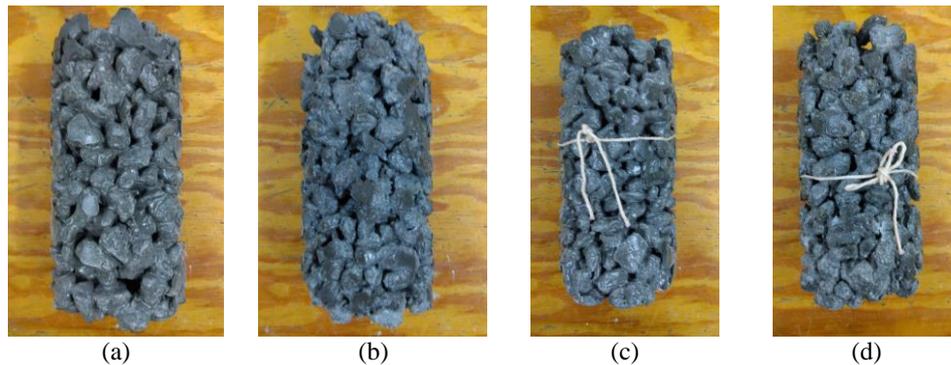


Figura 1- Corpos de prova com traços (a) 1:4, (b) 1:4,5, (c) 1:5 e (d) 1:5,5.

Podemos observar que os resultados obtidos por (TAVARES; KAZMIERCZAK, 2016) e (ARAÚJO, 2017) são mais elevados em relação aos demais, provavelmente devido a alta relação cimento/agregado utilizada por (TAVARES; KAZMIERCZAK, 2016) e pela baixa relação água/cimento adotada por (ARAÚJO, 2017).

Resistência à Tração por Flexão

Os dados de resistência à tração por flexão de concretos permeáveis encontrados na literatura foram obtidos através de métodos distintos de execução de ensaio. Enquanto (BATEZINI, 2013), (FAGUNDES *et al.*, 2016) e (XAVIER, 2019) realizaram seus testes baseados na NBR 12142/2010, (CARE, 2019) utilizou a ASTM C-78 na avaliação desta propriedade. Os dados obtidos pelos autores foram listados na tabela 1, e o gráfico 1b com os resultados de resistência à tração na flexão é apresentado a seguir:

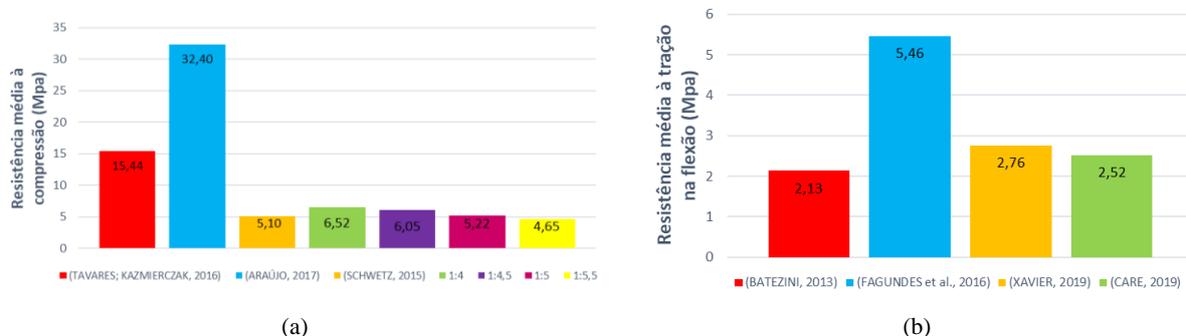


Gráfico 1- (a) Resistência média à compressão e (b) resistência média à tração na flexão dos autores.

Coefficiente de permeabilidade:

Os métodos adotados para o cálculo do coeficiente de permeabilidade dos autores são listados na tabela 1. De acordo com a NBR 16416-2015 todo pavimento de concreto permeável independentemente do tipo de revestimento adotado deve obter um coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-1} c/s quando recém construído. No gráfico 2 são apresentados os resultados do coeficiente de permeabilidade médio obtidos pelos autores estudados:

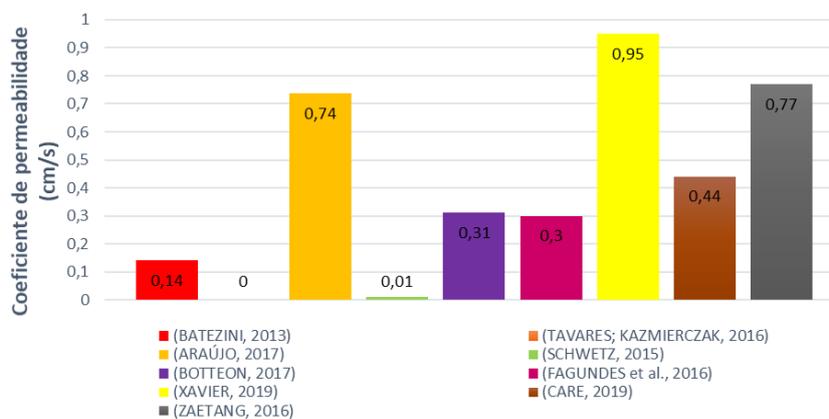


Gráfico 2- Coeficiente de permeabilidade médio dos autores.

As atividades laboratoriais foram prejudicadas devido a paralização contra o COVID-19 no período disponível para a realização das atividades desta pesquisa, de modo que não foi possível moldar todos os traços que estavam programados e efetuar os ensaios de permeabilidade e resistência à tração. Esta pesquisa será continuada assim que as atividades laboratoriais estiverem permitidas no Câmpus.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados obtidos na revisão bibliográfica, e organizados na tabela 1, podemos observar que quantidade de agregado e o fator água/cimento são inversamente proporcionais a resistência à compressão, concluindo que o concreto permeável cumpri com a Lei de Abrams. Com base no gráfico 2, foi possível observar que em quase todos os artigos abordados o coeficiente de permeabilidade atendeu aos requisitos estabelecidos pela NBR 16416/2015, exceto os de (TAVARES; KAZMIERCZAK, 2016) e (SCHWETZ, 2015) que utilizaram relação cimento/agregado de 1:2,39 e 1:3 respectivamente, o que nos faz concluir que para relações cimento/agregado maiores que 1:3 não é possível atender aos requisitos da NBR 16416/2015. Se desprezarmos os resultados de resistência a tração na flexão obtido por (FAGUNDES *et al*, 2016) pois seus traços possuem brita 0, podemos concluir que quanto maior a relação cimento/agregado e quanto menor a relação água/cimento, maior será a resistência à tração na flexão.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o apoio da Massaguaçu S/A pelos materiais doados e ao corpo técnico do Laboratório Integrado de Engenharia Civil (LIEC) do IFPS Campus Caraguatatuba pelo suporte durante as atividades, e à PRP pela bolsa para realização do estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13292: Solo — Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14545: Solo — Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ARAÚJO, L. E.; BARBOSA, M. N.. estudo de traços de concreto drenante como revestimento de pavimentos para áreas de tráfego leve. . Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Católica de Brasília, 2017.

BATEZINI, Rafael. *Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves*. 2013. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.

BOTTEON, Letícia Machado. Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos. 2017.

CARE, Frisky Ridwan Aldila Melania et al. Advanced Properties of Continuously Graded Pervious Concrete for Rigid Pavement Base Layer. **International Journal of Engineering and Technology Innovation**, v. 9, n. 2, p. 91, 2019.

FAGUNDES, Caroline kormann; CADORE, Júlia campregher; PEDRONI, Gabriella contesini; SANTOS, Sílvia. Avaliação da resistência mecânica e permeabilidade de concretos permeáveis com adição de agregado miúdo, 2016.

SCHWETZ, P. F. et al. Concreto permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve. Lisboa, Portugal, 2015.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 1, p. 75-89, 2016.

Xavier, L. L. S. Substituição de cimento Portland por cinza da casca de arroz e vidro moído em concretos permeáveis. ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE CONCRETOS ESPECIAIS, São Paulo, v. 96, p. 94-100, out./dez. 2019.

ZAETANG, Yuwadee et al. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 15-21, 2016.