2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL[1]

SOARES, Hamilton (1); BRAGA, Nállyton (2); CASTRO, Carlos (3); CORDEIRO, Luciana (4)

(1) Universidade Federal do Pará (UFPA), hamiltonsbs10@gmail.com
(2) UFPA, nallyton.tiago@gmail.com
(3) UFPA, murillosc@gmail.com
(4) UFPA, lupcordeiroo@gmail.com

RESUMO

Tendo em vista os casos de alagamentos, causados por ações antrópicas de substituição de camadas naturais por superfícies impermeáveis e por sistemas de drenagem precários, o concreto permeável tem sido um dispositivo com a finalidade de diminuição de escoamento superficial, acréscimo de infiltração e armazenamento temporário de águas pluviais. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar fatores que afetam o comportamento de águas pluviais nesse tipo de material. Para isso, foram feitas placas de concreto permeável com duas combinações granulométricas e duas porcentagens de pasta de cimento cada, e submetidas a ensaios de simulação de chuvas intensas, resistência à tração na flexão, porosidade total e efetiva, densidade aparente e cálculos de tortuosidade. Os resultados obtidos foram positivos para diminuição de escoamento superficial e capacidade de infiltração de água em todas as misturas. Além disso, foi possível notar a forte relação entre a tortuosidade das placas com a capacidade de armazenamento provisório de água, sendo os resultados mais satisfatórios para as misturas com maior porcentagem de pasta de cimento.

Palavras-chave: *Concreto permeável. Armazenamento de água. Escoamento superficial. Tortuosidade.*

ABSTRACT

In view of the flooding cases, caused by anthropic actions to replace natural layers with impermeable surfaces and by precarious drainage systems, permeable concrete has been a device with the purpose of reducing surface runoff, increasing infiltration and temporary storage of rainwater. In this context, the present work aims to analyze factors that affect the behavior of rainwater in this type of material. For that, permeable concrete slabs were made with two granulometric combinations and two percentages of cement paste each, and subjected to intense rainfall simulation tests, flexural tensile strength, total and effective porosity, apparent density and tortuosity calculations. The results obtained were positive for decreasing runoff and water infiltration capacity in all mixtures. In addition, it was possible to note the strong relationship between the tortuosity of the slabs and the capacity for temporary water storage, with the most satisfactory results for mixtures with a higher percentage of cement paste.

Keywords*: Pervious concrete. Water storage. Surface runoff. Tortuosity.*

[1]SOARES, H. S. B.; BRAGA, N. T. S.; CASTRO, C. M. S.; CORDEIRO, L. N. P. Análise do comportamento de águas pluviais em placas de concreto permeável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano sem planejamento tem como consequência a intensificação de diversas problemáticas, dentre as quais se pode destacar a incidência de inundações e alagamentos nas cidades, ocasionados pela baixa taxa de permeabilidade dos pavimentos e ineficiência dos sistemas de macro e microdrenagem (LAMB, 2014). Nesse contexto, nos últimos anos, diversas propostas têm sido desenvolvidas com a finalidade de atenuar desastres ambientais associados a inundações e alagamentos em áreas urbanizadas.

Para tanto, destaca-se o uso de pavimentos de concreto permeável que, por ser um dispositivo com elevado potencial de infiltração de águas superficiais, auxilia na redução de casos de alagamentos. Além disso, a capacidade de retenção provisória de água no interior do material é outro fator que auxilia no funcionamento adequado entre o concreto permeável e a drenagem para esse tipo de sistema, de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015).

A capacidade de infiltração e armazenamento de águas pluviais em concretos permeáveis é condicionada por diversas variáveis, dentre as quais destacam-se o teor de pasta de cimento e a granulometria dos agregados (FU et al, 2014). Tais parâmetros influenciam, por sua vez, a configuração dos poros internos na matriz de concreto em quantidade, tamanho e conectividade. Outra propriedade fortemente influenciada pela composição desse material é a tortuosidade, que corresponde à trajetória percorrida por um fluido para que este possa se deslocar do topo à base da estrutura porosa (MATYKA et al, 2012).

A partir disso, foram confeccionadas placas de concreto permeável com diferentes combinações granulométricas e porcentagens de pasta de cimento, e submetidas a simulações de chuvas intensas com o objetivo de analisar as variáveis que influenciam no comportamento de águas pluviais quanto ao escoamento superficial, capacidade de infiltração e armazenamento de água.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse estudo e confecção das placas de concreto permeável, foi utilizado como agregado graúdo o seixo de cava com diâmetros de 4,75 mm, 2,38 mm e 1,19 mm.

Segundo o Método de Empacotamento Compressível (MEC) proposto por Larrad (1999) e estudos realizados por Meddah et al. (2017), que indicam que a granulometria exerce forte influência na resistência e porosidade da matriz de concreto, utilizaram-se duas combinações granulométricas: 4,75 mm e 2,38mm; e 4,75 mm e 1,19 mm. Optou-se por trabalhar com combinações de 75% em massa do agregado de maior diâmetro e 25% em massa do agregado de menor diâmetro.

As combinações dos agregados foram submetidas a ensaios de massa unitária e índice de vazios (NBR NM 45/06), e massa específica e absorção de água (NBR NM 53/09). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização das combinações granulométricas

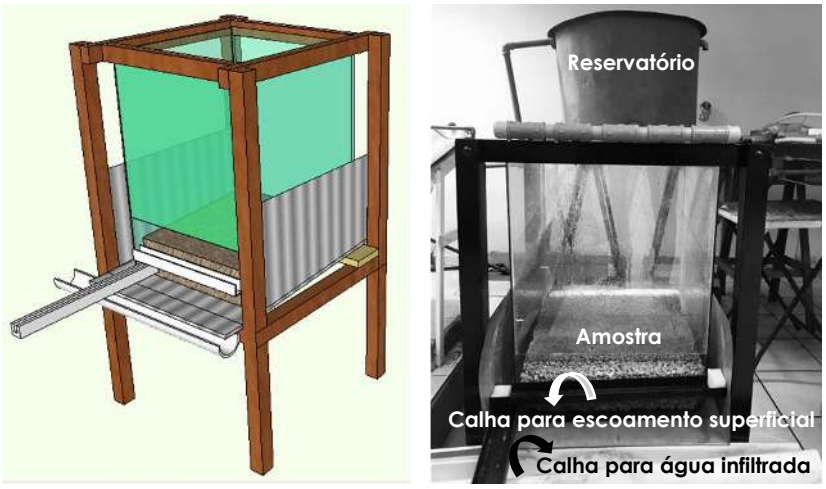
Faixa (mm)	Massa unitária (kg/m³)	Massa específica (kg/m³)	Índice de vazios (%)	Absorção de água (%)
4,75 - 2,38	1595,00	2617,10	39,05	1,2
4,75 - 1,19	1654,00	3014,20	36,78	1,5

Fonte: Autores (2019)

Além disso, foi utilizado cimento comum do tipo CP II-E-32, com massa específica de 3014,35 kg/m³ e água disponível no local de estudo.

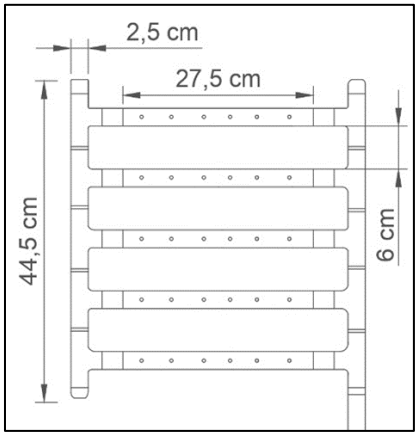
Quanto aos ensaios de simulações de chuva, foi utilizado um dispositivo composto por uma estrutura de madeira, tubulações de PVC de 25 mm com 35 furos de 0,6 mm de diâmetro e igualmente distribuídos, calhas de PVC e metálica para captação da água infiltrada e escoada superficialmente, além de um reservatório de água conectado à tubulação. As vistas da estrutura e do dispositivo simulador de chuva são apresentadas na Figura 1 e 2.

Figura 1 – Perfis da estrutura para simulação de chuva



Fonte: Autores (2019)

Figura 2 – Dispositivo simulador de chuva de PVC



Fonte: Autores (2019)

A dosagem do concreto foi executada conforme o método proposto por Castro et al. (2009), o qual utiliza os parâmetros de caracterização do agregado graúdo. Para cada combinação, foram usadas duas porcentagens de teor de pasta de cimento.

Além disso, foi fixada a mesma relação de água/cimento para todas as misturas. O consumo de cada material em kg/m³ é indicado na Tabela 2:

Tabela 2 – Consumo de material das misturas

Combinação (mm)	Mistura	Agregados (kg/m³)			Teor de pasta	Relação a/c	Consumo de cimento (kg/m³)	Consumo de água (L/m³)
		4,75 mm	2,38 mm	1,19 mm				
4,75 - 2,38	T1	1196,25	398,75		0,25	0,35	373,20	132,08
	T2	1196,25	398,75		0,23	0,35	338,80	119,91
4,75 - 1,19	T3	1240,88		413,62	0,25	0,35	374,21	132,85
	T4	1240,88		413,62	0,23	0,35	339,81	120,64

Fonte: Autores (2019)

Definidos os traços, foi moldada uma placa para cada mistura em formas de medidas de 400 mm x 400 mm x 100 mm. Para simular cargas de adensamento próximas a 0,08 MPa (CASTRO et al., 2009), as amostras foram adensadas com um rolo metálico de 55 kg, em 14 movimentos de vai-e-vem, sobre camada única. Finalmente, as placas foram desmoldadas depois de 48 horas e submetidas em cura submersa durante 28 dias.

Para os ensaios de simulação de chuvas e para que pudesse haver a ocorrêcia de escoamento superficial, foi necessário submeter as placas de concreto permeável a simulações de chuvas intensas e com uma inclinação máxima de 6% (BRAGA, 2019). Com uma intensidade de chuva de 0,097 mm/s, cada placa foi submetida a uma série de cinco simulações de chuva de 15 minutos e a cada simulação, para padronização dos ensaios, o reservatório era mantido com uma coluna d'água de 40 cm. O método experimental para uma simulação de chuva ocorreu segundo o esquema da Figura 3.

Figura 3 – Procedimento experimental de simução de chuva



Fonte: Autores (2019)

Após os ensaios de análise pluviométrica, foram retiradas amostras das placas de concreto permeável para que fossem realizados ensaios de resistência à tração na flexão (NBR NM 12142/10). Ensaios de porosidade total e efetiva, e densidade aprarente foram realizados de acordo com os procedimentos propostos por Kim e Lee (2010).

Em seguida, foram realizados os cálculos para tortuosidade das amostras que, segundo Maciej Matyka et al. (2012), por meio da porosidade total encontrada, pode ser calculada de acordo com a Equação 1:

$$T=1 - 0,67\times Ln(At) \quad (1)$$

Onde T é a tortuosidade e At é a porosidade total.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de simulação de chuva são apresentados conforme a Tabela 3, onde PP é o peso da placa em quilos em cada simulação, AA é a porcentagem de água armazenada na placa em relação a chuva anterior, PR1 é o peso da água percolada para o recipiente 1 e PR2 o peso da água em litros escoada superficialmente para o recipiente 2.

De acordo Tucci et al. (2000), o coeficiente de escoamento é obtido pela razão entre a chuva e escoamento totais, e para concreto permeável os valores do coeficiente foram inferiores a 0,005. Na tabela 3, é indicado que mesmo em condições extremas de chuvas e inclinação, somente a mistura T4 apresentou escoamento superficial na última simulação. Realizando o mesmo cálculo para coeficiente de escoamento, a mistura T4 obteve um coeficiente de 0,004, considerado satisfatório segundo os resultados obtidos por Tucci para concretos permeáveis.

Quanto ao armazenamento, que é outra variável muito importante no bom funcionamento entre o concreto permeável e o sistema de captação de água, as combinações que apresentavam uma porcentagem maior de pasta de cimento na mistura foram as que tiveram maior capacidade de retenção de água, tendo entre elas a mistura T3 a maior retenção.

Tabela 3 – Resultados das simulações de chuva

Mistura	Chuva	PP (kg)	AA (%)	PR1 (L)	PR2 (L)
T1	Início das simulações	30,15	0,00	0,00	0,00
	Simulação 01	30,35	0,66	15,05	0,00
	Simulação 02	30,40	0,82	15,20	0,00
	Simulação 03	30,45	0,30	14,80	0,00
	Simulação 04	30,45	0,99	14,00	0,00
	Simulação 05	30,47	1,05	14,05	0,00
T2	Início das simulações	29,35	0,00	0,00	0,00
	Simulação 01	29,55	0,20	15,10	0,00
	Simulação 02	29,60	0,68	14,75	0,00
	Simulação 03	29,60	0,84	14,30	0,00
	Simulação 04	29,65	1,01	13,90	0,00
	Simulação 05	29,65	1,01	14,15	0,00
T3	Início das simulações	30,60	0,00	0,00	0,00
	Simulação 01	30,85	0,81	13,75	0,00
	Simulação 02	30,90	0,97	13,90	0,00
	Simulação 03	30,95	1,13	14,10	0,00
	Simulação 04	30,95	1,13	14,10	0,00
	Simulação 05	31,00	1,13	14,10	0,00
T4	Início das simulações	29,05	0,00	0,00	0,00
	Simulação 01	29,25	0,69	14,90	0,00
	Simulação 02	29,30	0,85	15,60	0,00
	Simulação 03	29,30	0,85	15,10	0,00
	Simulação 04	29,30	0,85	15,05	0,00
	Simulação 05	29,30	0,85	15,00	0,06

Fonte: Autores (2019)

Os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão, densidade aparente, porosidade total e efetiva, e tortuosidade são apresentados na Tabela 4. De acordo com as especificações da NBR 16416 (ABNT, 2015), a mistura T4 foi a única que não atendeu à exigência normativa mínima de 2 MPa para tráfego leve, pois apresentou resistência de 1,78 MPa, o que pode ser justificado pela compacidade gerada entre os grãos de agregado graúdo e a menor porcentagem de pasta de cimento.

De acordo com estudos desenvolvidos e literatura utilizada por Solminihac et al. (2007), uma porcentagem de porosidade efetiva de 15% está associada a um coeficiente de permeabilidade em torno de 3,5 mm/s. Desse modo, utilizando a mesma relação, de acordo com a Tabela 4, todas as misturas apresentaram resultados satisfatórios quanto à taxa de infiltração que, segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015), o coeficiente de permeabilidade para concretos permeáveis deve apresentar valores superiores a 1 mm/s.

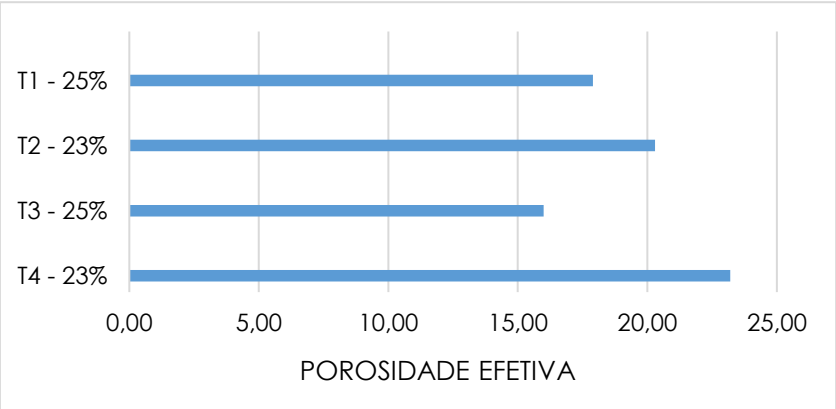
Tabela 4 – Resultados experimentais

Mistura	Resistência (MPa)	Densidade aparente (g/cm³)	Porosidade efetiva (%)	Porosidade total (%)	Tortuosidade
T1	2,15	1,76	17,90	45,10	1,53
T2	2,13	1,72	20,30	49,35	1,47
T3	2,73	1,77	16,00	41,55	1,59
T4	1,78	1,63	23,20	56,05	1,39

Fonte: Autores (2019)

Em um estudo desenvolvido por Sumanasooriya et al. (2012), em que foram analisados conceitos de empacotamento de partículas para o dimensionamento de concretos permeáveis, entre os resultados discutidos, foi verificada a influência da porcentagem de pasta de cimento na matriz do concreto permeável quanto à condutividade hidráulica. Segundo os autores, as amostras que apresentaram maior porcentagem de pasta de cimento foram as que tiveram os menores resultados para porosidade efetiva e, com isso, menor condutividade hidráulica. Assim, seguindo o mesmo raciocínio, nesta pesquisa foi possível fazer essa mesma correlação. De acordo com a Figura 4, as amostras com maior porcentagem de pasta de cimento apresentaram menores resultados para porosidade efetiva e, com isso, menor capacidade de infiltração de água no material permeável.

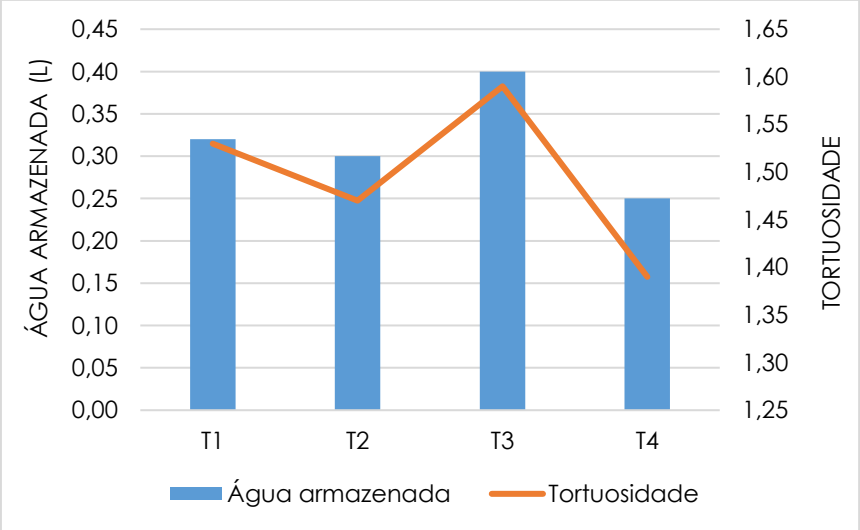
Figura 4 – Relação entre porcentagem de pasta de cimento e porosidade efetiva



Fonte: Autores (2019)

Quanto à correlação dos resultados de armazenamento de água e tortuosidade, de acordo com Zhong et al (2016), uma maior porcentagem de pasta de cimento na matriz do concreto permeável leva ao aumento no bloqueio dos caminhos próximos que conectam os poros individuais, resultando em tamanho de poro menor e aumento da tortuosidade. Esse efeito acaba auxiliando em uma maior retenção de água no interior do material, já que o fluido percorre uma trajetória maior de uma superfície a outra do concreto permeável. De acordo com a Figura 5, é possível notar o efeito da tortuosidade na capacidade de armazenamento de água no interior do concreto.

Figura 5 – Relação entre tortuosidade e água armazenada



Fonte: Autores (2019)

Assim, a mistura T3 foi a que apresentou maior valor no cálculo de tortuosidade e, com isso, melhor resultado para capacidade de armazenamento provisório de água, ou seja, a água percolada nessa amostra percorreu uma trajetória maior no interior da placa de concreto permeável.

4 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve por objetivo principal analisar o comportamento de águas pluviais em placas de concreto permeável com diferentes faixas granulométricas e porcentagens de pasta de cimento, quanto ao escoamento superficial, infiltração e armazenamento. Entre os resultados obtidos, destaca-se que:

a) Mesmo sujeitas a condições extremas de séries de chuvas intensas e de inclinação, todas as misturas apresentaram os melhores resultados para ao escoamento superficial e atenderam à taxa mínima de infiltração, visto que tiveram porcentagens de porosidade efetiva superiores ao recomendado.

b) Tendo em consideração as correlações feitas entre as variáveis, é possível notar a forte relação existente entre a porcentagem de pasta de cimento, tortuosidade e capacidade de armazenamento. As misturas com maior porcentagem de pasta de cimento foram as que obtiveram maiores resultados de tortuosidade e, com isso, maior capacidade de reter água no interior da placa de concreto permeável. Assim, a mistura T3 foi a que apresentou resultados mais satisfatórios para essas correlações. Além disso, a mistura não apresentou escoamento

superficial durante as cinco simulações e obteve resistência satisfatória para locais de tráfego leve.

Desse modo, com base nos resultados, estudos a respeito da variação granulométrica e quantidade de consumo de cimento são fundamentais para que o armazenamento e o escoamento de águas pluviais ocorram de maneira satisfatória, a fim de que o concreto permeável seja uma boa alternativa para mitigar os efetivos negativos das más condições de drenagem e ações antrópicas de impermeabilização do solo.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2006.

_____. **NBR 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2009.

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

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

BRAGA, N. T. S. **Concretos permeáveis na Amazônia – Desafios e potencialidades regionais.** 2019. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CASTRO, et al.; **Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón.** Pavimentos porosos de hormigón, 271 – 284, 2009.

FU, T. C., YEIH, W., CHANG, J. J., & HUANG, R.; **The influence of aggregate size and binder material on the properties of pervious concrete.** Advances in Materials Science and Engineering, 2014.

LAMB, G. S.; **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável.** Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 1, 150, 2014.

LARRARD, F. DE. 1999. **Concrete mixture proportioning - A scientific approach.** 2011th ed. Taylor & Francis e-Library.

MATYKA, M.; KOZA, Z.; **How to calculate tortuosity easily?** 01 – 04, 2012.

MEDDAH, M. S., K. AL-JABRI, A. W. HAGO, AND A. S. AL-HINAI. 2017. **"Effect of granular fraction combinations on pervious concrete performance."** Materials Today: Proceedings 4(9):9700–9704.

KIM, H. K; LEE, H. K.; **Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete**. In: Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, 2010.

SOLMINIHAC, et al.; **Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables.** Materiales de Construcción. Vol. 57, 287, 23-36, 2010.

Sumanasooriya, M. S., Deo, O., & Neithalath, N. (2012). **Particle packing-based material design methodology for pervious concretes.** ACI Materials Journal, 109(2), 205–214.

TUCCI, C., GOLDENFUM, J., & ARAUJO, P.; **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 5(3), 21–29, 2000.

Zhong, R., Xu, M., Vieira Netto, R., & Wille, K. (2016). **Influence of pore tortuosity on hydraulic conductivity of pervious concrete: Characterization and modeling.** Construction and Building Materials, 125, 1158–1168.