

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PERMEÁVEL E SUA INFLUÊNCIA NOS SISTEMAS DE DRENAGEM

Mayara da Silva Lima¹; Teresa Raquel Lima Farias² & Marcos Fábio Porto de Aguiar³

RESUMO – Com o crescente aumento da urbanização surge como consequência um intenso processo de impermeabilização de áreas anteriormente permeáveis e que influenciavam diretamente no escoamento superficial e contribuía com o abastecimento dos lençóis freáticos. O emprego de pavimentos permeáveis tem se tornado cada vez mais necessário como medida mitigadora dos impactos gerados por essa acentuada urbanização. A melhor forma de avaliar o desempenho de um pavimento permeável e garantir que ele irá contribuir com a diminuição do escoamento superficial de água, ou seja, determinando-se a sua condutividade hidráulica. Para esta análise foram moldadas duas placas de concreto permeável, a primeira placa foi confeccionada com 100% de agregado reciclado (AR) e a segunda placa com 30% de AR e 70% de agregado natural. Para a placa produzida com concreto 100% AR, obteve-se, condutividade hidráulica de $2,28 \times 10^{-2}$ m/s e para a placa confeccionada com a mistura dos agregados obteve-se $1,60 \times 10^{-2}$ m/s. Conforme classificação de ABNT (2015) os pavimentos analisados nesta pesquisa podem ser considerados como de alto grau de permeabilidade. Logo, o emprego deste dispositivo mostra-se como uma alternativa promissora a ser empregada como elemento de drenagem capaz de mitigar os efeitos da urbanização sobre o aumento do escoamento superficial.

ABSTRACT– With the increasing increase of urbanization, an intense process of waterproofing of previously permeable areas that directly influenced the surface runoff and contributed to the water table supply resulted. The use of permeable pavements has become increasingly necessary as a mitigating measure of the impacts generated by this marked urbanization. The best way to evaluate the performance of a permeable pavement is to ensure that it will contribute to the reduction of the water runoff, that is, by determining its hydraulic conductivity. For this analysis two plates of permeable concrete were molded, the first plate was made with 100% of recycled aggregate (AR) and the second plate with 30% of AR and 70% of natural aggregate. For the plate produced with 100% AR concrete, a hydraulic conductivity of 2.28×10^{-2} m/s was obtained on the average of the two tests carried out, for the plate made with the mixture of the aggregates, an average of 1.60×10^{-2} m/s. According to classification of ABNT (2015) the floors analyzed in this research can be considered as having a high degree of permeability. Therefore, the use of this device is a promising alternative as a drainage element capable of mitigating the effects of urbanization on the increase in surface runoff.

Palavras-Chave – Permeabilidade, Hidrologia, Drenagem Urbana.

1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE: Av. Treze de Maio, 2081 – Benfica, Fortaleza-CE, 60040-531, (85)3307.3681. tec.maylima@gmail.com

2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE: Av. Treze de Maio, 2081 – Benfica, Fortaleza-CE, 60040-531, (85)3307.3681. teresafarias@ifce.edu.br

3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE: Av. Treze de Maio, 2081 – Benfica, Fortaleza-CE, 60040-531, (85)3307.3681. marcosporto@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acompanha sérios problemas ambientais e sociais. O inchaço das cidades, provocado pelo acúmulo de pessoas e a falta de uma infraestrutura adequada, gera transtornos para a população urbana, como enchentes e alagamentos provocados pelo aumento do volume do escoamento superficial devido às extensas áreas cobertas por concreto e asfalto, dificultando a infiltração das águas pluviais no solo. As chuvas em grandes proporções ocasionam um acúmulo muito grande de água e a rede de drenagem, por muitas vezes, se torna ineficiente. Essas águas podem invadir residências, prédios, túneis e comprometer o trânsito. Como alternativa mitigadora desse impacto surge o pavimento de concreto permeável.

O *American Concrete Institute* (ACI 522, 2010) define concreto poroso ou concreto permeável como uma estrutura que possui vazios interconectados entre si que permitem que a água passe através da superfície. É considerado material de construção sustentável, uma vez que reduz o escoamento superficial das águas pluviais, melhora a qualidade da água de recarga do lençol freático e minimiza o impacto do crescimento urbano.

Em 1987, após várias pesquisas e descobertas acerca das técnicas e vantagens da pavimentação permeável, esse dispositivo passou a ser muito utilizado em vias, calçadas e praças. Por conhecer cada vez mais dos benefícios gerados pelos pavimentos permeáveis, países começaram a utilizar mais desses materiais. No Japão, por exemplo, devido à alta população, começou-se a utilizar o pavimento para ajudar na drenagem e escoamento na fonte. Na Suécia, devido ao clima de frio e neve, começou-se a utilizá-lo para interromper o nível do lençol freático e a redução da necessidade de redes pluviais. Na América Latina, o Chile foi o pioneiro no uso deste material drenante (ACIOLI, 2005).

Entretanto, segundo Li (2009), o uso do concreto permeável teve início há mais de 150 anos, embora a sua real aplicação para as mais diversas finalidades somente veio a apresentar grande avanço há pouco mais de 20 anos, principalmente nos EUA.

Apesar de o concreto permeável já ser amplamente conhecido e utilizado pelo mundo, somente em 2006 que se fez a maior obra deste material no território brasileiro, em Minas Gerais, com o Parque Tecnológico de Belo Horizonte, tendo toda sua pavimentação em concreto permeável. A obra foi feita como tentativa para diminuir os riscos de inundações e alimentar as nascentes do Parque (HOLTZ, 2011).

Segundo Pereira e Barbosa (2015), o termo "concreto permeável", é usado para designar concretos com altos índices de vazios interligados entre si, permitindo a passagem de fluidos devido a sua elevada permeabilidade. Um dos métodos para obtenção de tal configuração é a de substituir o

agregado miúdo por cimento, água e agregado graúdo, apresentando praticamente nenhuma quantidade de finos na mistura.

Os pavimentos permeáveis são superfícies drenantes que promovem a infiltração e armazenamento parcial ou total da água oriunda do escoamento superficial para dentro de uma camada de armazenamento temporário sob o revestimento, a qual é absorvida gradualmente pelo solo ou evaporada. O grau de permeabilidade deste concreto tem relação direta com o escoamento superficial, a depender da porosidade do concreto, sendo capaz de minimizar o escoamento superficial ou até mesmo não gerar escoamento.

A ocupação urbana desordenada é um fator que causa a impermeabilização do solo e pode alterar o ciclo hidrológico, resultando em um aumento de enchentes urbanas e erosão do solo. Segundo Azzout et al., (1994) o funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis baseia-se em: entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento. Essa entrada pode ser feita de forma distribuída (no caso de revestimentos porosos que permitem a penetração da água) ou localizadamente; estocagem temporária da água no interior do pavimento e nos vazios da camada reservatória e evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, pela liberação lenta para a rede de drenagem, ou uma combinação das duas formas.

Em uma abordagem sustentável, a tendência atual é buscar a manutenção dos pavimentos a partir de elementos que permitam a infiltração de água e retardem seu escoamento. Desta forma, os pavimentos permeáveis têm se tornado um elemento de papel fundamental por reduzirem volumes de escoamento superficial e o impacto sobre a qualidade da água.

Na Figura 1 traz-se algumas superfícies consideradas permeáveis, como o terreno natural, paralelepípedos intertravados, pavers intertravados, pedra portuguesa, blocos vazados de concreto e placa de concreto permeável, objeto deste estudo.



Figura 1 Tipos de pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis podem ser classificados de três maneiras em relação à infiltração de água precipitada, pavimentos permeáveis com infiltração total, com infiltração parcial e sem infiltração (Figura 2). De acordo com ABNT (2015) a escolha do sistema de infiltração depende das características do solo ou de condicionantes de projeto.

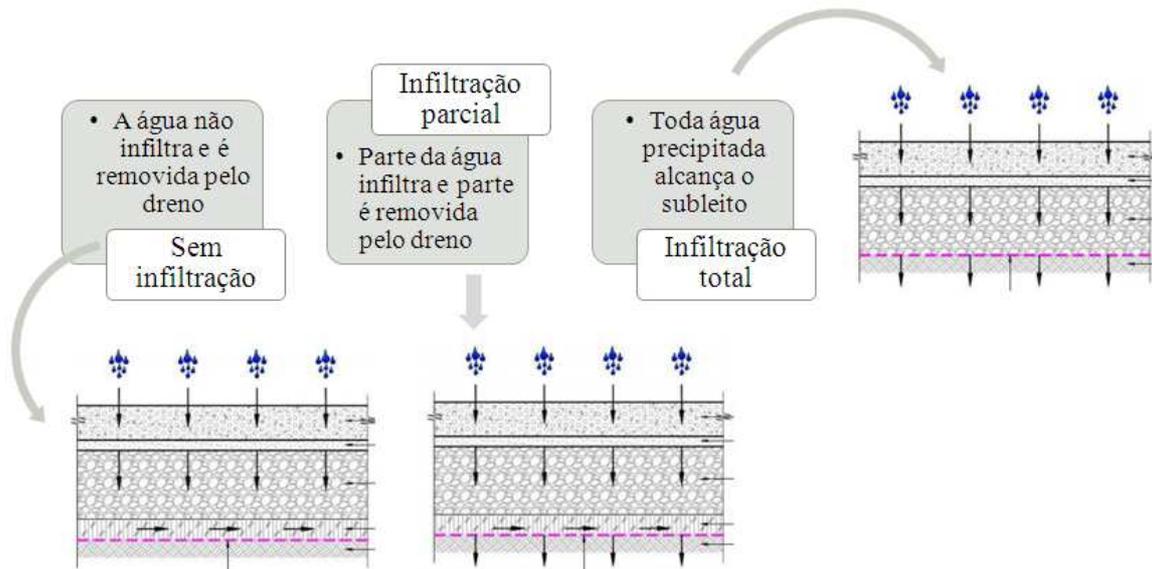


Figura 2 – Sistemas de infiltração dos pavimentos permeáveis. Fonte: Adaptado de Ono, 2018

Os pavimentos permeáveis considerados sem infiltração são aqueles onde a água não infiltrada é totalmente removida pelo dreno, aqueles considerados com infiltração parcial tem parte da água infiltrada e parte removida pelo dreno, já os pavimentos com infiltração total, toda água precipitada alcança o subleito. Para Ono (2018) a superfície de infiltração do pavimento poroso deve ter condutividade hidráulica maior que a intensidade de chuva.

A melhor forma de avaliar o desempenho de um pavimento permeável e garantir que ele irá contribuir com a diminuição do escoamento superficial de água, problema típico de áreas impermeáveis, é medindo a velocidade de infiltração de um volume conhecido de água, ou seja, determinando-se o seu coeficiente de permeabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta análise foram moldadas duas placas de concreto permeável, cada uma com traço diferente, objetivando uma avaliação da influência do traço do concreto na condutividade hidráulica do mesmo. A primeira placa foi confeccionada com 100% de agregado reciclado (AR) oriundo de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e a segunda placa com 30% de AR e 70% de agregado natural (AN), nesta segunda placa acrescentou-se também 8% de agregados finos e aditivo.

O procedimento foi realizado no Instituto Federal do Ceará (IFCE) e conforme o anexo A da NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos (ABNT, 2015). Esta norma orienta que antes do procedimento o pavimento deve ser limpo, retirando-se sedimentos e outros materiais que não estejam aderidos ao pavimento. Após essa limpeza, deve haver uma pré-molhagem e iniciar o ensaio em até 2 minutos.

O tempo de pré-molhagem depende da massa escolhida para a realização do ensaio (Tabela 1). Nesta pesquisa optou-se por realizar o ensaio duas vezes em cada tipo de placa, pois em ambas utilizou-se massa de água de 3,6 kg e em um segundo momento de 18 Kg.

Tabela 1 – Determinação da massa de água para ensaio

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para o ensaio (Kg)
≤ 30	$18 \pm 0,05$
>30	$3,6 \pm 0,05$

Foi utilizado um anel de infiltração cilíndrico vazado, com diâmetro de 300 mm conforme exige a norma, neste anel foram feitas duas linhas de referência com distâncias de 10mm e outra de 15mm em relação à face inferior do anel, a partir destas linhas é que se controlará a velocidade com que se despeja a água (Figura 3).



Figura 3 – Anel cilíndrico com marcações

O anel cilíndrico foi acoplado no centro da placa de concreto, em um período menor que 2 minutos após a pré-lavagem a água foi despejada no anel, com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as alturas de 10 mm a 15 mm do anel, conforme recomenda a ABNT (2015). No momento em que a água atingiu a superfície da placa, um cronômetro foi acionado, e quando não houve mais água livre na superfície, o cronômetro foi parado, sendo então registrado o tempo de permeabilidade. A realização do ensaio está demonstrada na Figura 4.

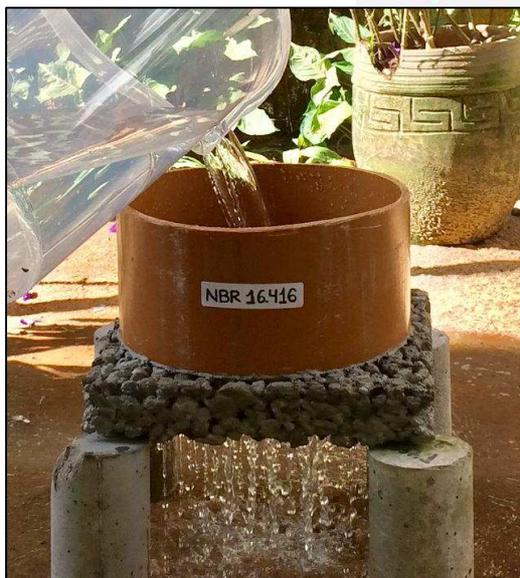


Figura 4 – Realização do ensaio de permeabilidade

O ensaio foi realizado duas vezes em cada placa e anotados os tempos para infiltração total da massa de água. Após os procedimentos seguiu-se com o cálculo da condutividade hidráulica (K) conforme Equação 1.

$$K = \frac{C.m}{(d^2.t)} \quad (1)$$

Em que: K é a condutividade hidráulica (mm/h); C – fator de conversão SI; m – massa de água infiltrada (Kg); d – diâmetro interno do cilindro (mm) e t – tempo de percolação da água (s).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de determinação de condutividade hidráulica do concreto permeável encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Resultados do ensaio de determinação de condutividade hidráulica

Utilizando 18 Kg de água					
	m (Kg)	d (mm)	t (s)	k (mm/h)	k (m/s)
PLACA-AR	18	90000	11,04	83.037	2,307E-02
PLACA-MIS	18	90000	22,86	40.102	1,114E-02
Utilizando 3,6 Kg de água					
	m (Kg)	d (mm)	t (s)	k (mm/h)	k (m/s)
PLACA-AR	3,6	90000	2,25	81.487	2,264E-02
PLACA-MIS	3,6	90000	2,44	75.142	2,087E-02

Para a placa produzida com concreto 100% AR (placa-AR) obteve-se, na média dos dois ensaios realizados, um coeficiente de $2,28 \times 10^{-2}$ m/s e para a placa confeccionada com a mistura dos agregados reciclados e naturais (placa-MIS) obteve-se em média $1,60 \times 10^{-2}$ m/s.

No Quadro 2 traz-se uma relação entre a condutividade hidráulica e a classificação do grau de permeabilidade, onde um material com coeficiente superior a 0,001 m/s é considerado com alto grau de permeabilidade, já um com coeficiente inferior a 10^{-9} m/s é considerado praticamente impermeável. De acordo com a ABNT (2015), para um pavimento recém construído, exige-se uma condutividade hidráulica maior que 10^{-3} m/s.

Quadro 2 – Classificação do grau de permeabilidade em função dos valores de condutividade hidráulica

Condutividade hidráulica		Grau de permeabilidade
m/s	mm/h	
$>10^{-3}$	> 3600	Alta
10^{-3} a 10^{-5}	3600 a > 36	Média
10^{-5} a 10^{-7}	36 a $> 0,36$	Baixa
10^{-7} a 10^{-9}	0,36 a 0,0036	Muito baixa
$<10^{-9}$	$< 0,0036$	Praticamente impermeável

Fonte: ABNT, 2015

Conforme o Quadro 2, elaborado com base na classificação da ABNT (2015) os pavimentos analisados nesta pesquisa podem ser considerados como de alto grau de permeabilidade.

Claudino (2018) também realizou ensaios de permeabilidade conforme a ABNT (2015) em uma placa produzida com agregado natural e obteve um k de $1,8 \times 10^{-2}$ m/s. Já Santos (2017) realizou a análise de permeabilidade de quatro placas, uma com 100% agregados naturais, outra com 15% de AR, uma terceira com 25% de AR e por fim com 35% de AR, o ensaio foi promovido consoante ASTM C1701, norma americana que deu embasamento para a norma brasileira, e obteve respectivamente $2,35 \times 10^{-2}$ m/s, $1,77 \times 10^{-2}$ m/s, $2,08 \times 10^{-2}$ m/s e $1,20 \times 10^{-2}$ m/s. Finocchiaro e Girardi (2017) realizaram a análise em concretos permeáveis com três traços distintos e obtiveram respectivamente 8×10^{-3} m/s, $1,9 \times 10^{-2}$ m/se $1,1 \times 10^{-2}$ m/s.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os trabalhos citados e os resultados obtidos nesta pesquisa, todas as placas foram classificadas com um alto grau de permeabilidade, conclui-se que os pavimentos de concreto permeável são soluções tecnológicas capazes de contribuir como alternativa mitigadora dos

impactos gerados pela urbanização, como impermeabilização de solos. O emprego deste dispositivo mostra-se uma alternativa promissora como elemento de drenagem.

Sugere-se para futuros trabalhos estudo de permeabilidade de um pavimento “*in loco*”, também análise da condutividade hidráulica do terreno onde vai ser instalado o pavimento, além de estudo hidrológico para avaliação da pluviometria e de chuvas intensas da região.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Engenharia Hidráulica. 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI Committee 522. 522R-10 Report on Pervious. 2010, 38p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.416: pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 24 p.

AZZOUT, Y., BARRAUD, S., CRES, F. N., ALFAKIH, E. 1994.; Techniques alternatives en assainissement pluvial. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 372 p. 1994.

CLAUDINO, G. O. Drenagem urbana: avaliação das propriedades do concreto permeável para a realidade cearense utilizando insumos locais. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia ambiental e sanitária. Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Quixadá. 98 p. 2018.

FINOCCHIARO, P. S; GIRARDI, R. Concreto permeável produzido com agregado reciclado. Revista de engenharias da faculdade Salesiana. n. 5 (2017) pp. 19-26. 2017.

HOLTZ, F.C. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

LI, J. Mix Design of Pervious Recycled Concrete. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance, and Testinf of Pavements. V. 195, n. 15, p. 103–108, Ago. 2009.

ONO, B. W. Análise do desempenho estrutural e hidráulico de um pavimento permeável com revestimento de blocos de concreto unidirecionalmente articulados. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de transportes. São Paulo, 247 p. 2018.

PEREIRA, K. K.; BARBOSA, M.P.: Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção civil da região de Campinas. Anais. In: V encontro de iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Campinas, 2015.

SANTOS, R.R. Estudo da resistência mecânica do concreto permeável com substituição de agregado natural por agregado reciclado. 2017. Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2017.