


Adilson Martins de OLIVEIRA JUNIOR**


<https://orcid.org/0000-0002-3816-0486>

Cláudia Scoton Antonio MARQUES***


<https://orcid.org/0000-0002-9812-150X>

Recebido em: 02 de março de 2019

Aprovado em: 20 de agosto de 2020

ESTUDO DAS RELAÇÕES DE RESISTÊNCIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO PAVIMENTO PERMEÁVEL ADITIVADO COM POZOLANA*

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN STRENGTH AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF THE PERMEABLE PAVING ADDED WITH POZZOLAN

RESUMO

Com o desenvolvimento dos grandes centros urbanos e o aumento das áreas impermeáveis, surge a necessidade de aumentar as áreas permeáveis, sem abrir mão do pavimento de concreto e ainda assim ajudar na drenagem urbana, tirando a sobrecarga dos sistemas de drenagem tradicionais. Desse modo, o objetivo desta pesquisa é comparar dois traços de concreto permeável com as mesmas características físicas e mesmas compactações, mas tendo como diferença o tipo de cimento a ser empregado que serão o CP II-E e o CP II-Z, ambos com 32 MPa de resistência, com isso serão analisadas quais as mudanças na resistência e na permeabilidade dos corpos de prova que podem ocorrer. Serão moldados em laboratório cerca de 6 corpos de prova para ensaios de resistência à compressão e mais 4 corpos para os ensaios de permeabilidade que seguiram as especificações da NBR 16416 com algumas adaptações e foram cronometrados o tempo que o corpo de prova demorava para absorver certa quantidade de água e usando uma fórmula disponível na mesma norma. Os resultados indicam que não houve diferenças significativas entre os traços comparados, porém a resistência de ambos foram superiores às observadas em outras pesquisas e notou-se que os traços feitos com o CP II-Z tiveram uma ligeira vantagem, mas ainda ficam empatados com o outro traço. No quesito de permeabilidade, ambos têm um ótimo desempenho, pois atendem aos critérios mínimos da NBR 16416. Conclui-se que a comparação entre esses dois cimentos não mostrou tantas diferenças significativas, porém foi observado que a compactação e cura são elementos fundamentais para agregarem resistência aos pavimentos drenantes. Com isso, é possível ampliar o leque de aplicações para que no futuro se possa adotar o pavimento permeável até mesmo em vias públicas e rodovias.

Palavras-chave: Pavimentos permeáveis. Drenagem. Cimentos

ABSTRACT

Along with the development of large cities and the increase in impermeable areas, it raises the need for permeable areas expansion without forgoing the concrete paving and after all promoting urban drainage in order to unburden the traditional drainage systems. Accordingly, this study sought to compare two traits of permeable concrete with the same physical characteristics, the same compaction, although they differ in the type of concrete to be applied, they are CP II-E and CP II-Z, both 32 MPa resistant, hence possible changes to occur in strength and permeability of the specimen will be analyzed. In the laboratory, six specimens will be mold for compressive strength testing, and four extra specimens for permeability testing following NBR 16416 standard with some adaptations, we measured the time the specimen takes for absorbing an amount of water, as well as an available formula following the same standards. The results suggest that there were no significant differences between the traits when compared. However, the strength for both was higher when compared to other studies, it was noticed that traits made with CP II-Z presented a slight advantage, nevertheless, they are similar to the other trait. Regarding permeability, both had a great performance, since they meet the minimum NBR 16416 standards. We concluded that the comparison between those concretes had not presented significant differences, though we observed that compaction and drying are key elements to add strength to draining concrete paving. Hence, it is possible to broaden applications in order to adopt permeable paving even for public roads and highways.

* Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Pibic/Unifunec

** Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, adilson.junior.1@hotmail.com

*** Doutora, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, clauscam@gmail.com

Keywords: Permeable paving. Drainage. Concrete.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população humana e a ocupação desordenada do solo, muitas mudanças ocorreram na estrutura do solo e nos cursos d'água, modificando a paisagem natural de rural para urbana.

A urbanização sem planejamento expõe o solo a uma diversidade de problemas, sendo um deles a impermeabilização do solo. Muitos problemas surgem com as ocupações irregulares e a impermeabilização das superfícies. Erosão e assoreamento de rios também podem ser causados pela impermeabilização das superfícies, que gera escoamento com maior volume do que o escoamento em superfícies naturais (ESTEVES, 2006).

Os pavimentos permeáveis, também conhecidos como *paver* ou piso drenante, compõem parte das tecnologias que têm sido desenvolvidas com o intuito de promover a infiltração da água, fazendo com que o solo consiga ter uma capacidade drenante satisfatória.

O pavimento permeável pode ser considerado um grande aliado para resolver os problemas de enchentes que grandes e pequenas cidades enfrentam, pois tem características porosas facilitando assim a infiltração das águas pluviais no solo evitando enchentes, bolsões de água, aquaplanagem (água sobre a superfície do asfalto) e efeitos *splash*.

Entre os dispositivos que buscam restituir ao solo as qualidades originais de drenagem, existe o pavimento permeável.

Pesquisas têm sido feitas em vários países com o intuito de dominar a técnica do pavimento permeável, de avaliar seu comportamento, sua eficiência e durabilidade, sendo que, no Brasil, esse dispositivo ainda é pouco conhecido e pouco aplicado (ACIOLI, 2005).

A drenagem urbana tradicional busca drenar, ou melhor, afastar as águas derivadas de precipitações o mais rápido possível, reduzindo a possibilidade de inundações.

Buscando estudar o pavimento permeável, optou-se, neste trabalho, por verificar a capacidade de infiltração e a resistência de variantes de pavimentos permeáveis, com a composição diferente dos existentes hoje na maioria dos passeios públicos de cidades.

Assim, esse projeto teve por objetivo analisar as propriedades mecânicas de duas diferentes composições de concreto permeável submetidas à mesma força de compactação, em que muda somente o tipo de cimento empregado.

Por meio dos dados obtidos e de uma análise estatística, busca-se investigar qual a influência que o cimento pode exercer no pavimento permeável, quando este se encontra pronto e quais os efeitos positivos ou negativos.

2 METODOLOGIA

Foram feitas uma pesquisa bibliográfica e uma pesquisa aplicada, pois se buscou, por meio de aplicação prática e dirigida, a solução do problema deste trabalho. Para isso, foram executados os ensaios de permeabilidade, resistência e condutividade, todos executados no Laboratório de Materiais do Centro Universitário de Santa Fé do Sul – UNIFUNEC e seguiram as normas previstas na ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

a) Dosagem

Usando um traço já existente e adotado por Batezini (2013), a relação foi de 1: 0,4: 4, (cimento:areia:brita) pelo fato de ter tido bons resultados, sendo assim, o foco desta pesquisa foi testar quais as diferenças na resistência e na permeabilidade de dois traços idênticos, somente mudando o tipo de cimento a ser utilizado, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Proporção em massa dos materiais nas amostras, onde, “-E” = Traços com cimento (CP II-E) e “-Z” = Traços com cimento (CP II-Z)

Denominação das amostras	Proporção em massa de cada material na mistura		
	Cimento	Areia	Brita
M1-E	1	0,4	4,0
M2-Z	1	0,4	4,0

Fonte: Dos próprios autores.

b) Moldagem, cura e capeamento dos corpos de prova

A relação água/cimento (a/c) deve estar entre 0,26 e 0,45 e, de acordo com ensaios e experimentos prévios no laboratório, determinou-se uma relação a/c próxima de 0,35 para uma boa consistência. A partir da inserção de areia na mistura, a inserção de água no sistema dependerá do módulo de finura dos materiais alternativos a serem utilizados.

Foi empregada nos corpos de prova além da compactação manual, uma compactação mecânica por cerca de 5 segundos, tomando cuidado para não provocar o entupimento dos vazios.

Para cada mistura, foram moldados três corpos de prova cilíndricos de 10x20cm de dimensões que passaram por testes de compressão axial e mais dois corpos de prova para passar pelo teste de condutividade hidráulica.

Pelo índice de vazios elevados nesse tipo de concreto, ele é relativamente frágil, o que torna o processo de cura algo crucial para o ganho de resistência.

No processo de cura, foi improvisada uma câmara úmida que ajudou a manter a umidade dos corpos nos seus primeiros dias de cura.

No processo de ruptura, para que a superfície dos corpos de prova cilíndricos não interfira nos resultados, foram utilizados madeirites para o capeamento das amostras.

c) Ensaio mecânico no concreto endurecido

Nas amostras, foram executados os ensaios de resistência à compressão, segundo a NBR 5739 (2007). Para cada um dos traços foram rompidos três corpos de prova com 28 dias de cura com controle da umidade. Os resultados em MPa foram obtidos a partir da média simples dos corpos de prova.

Figura 1 - Ensaio de compressão axial com o corpo de prova



Fonte: Dos próprios autores.

d) Ensaio de condutividade hidráulica no concreto

Seguindo as instruções da recente NBR 16416 (2015), que dispõe sobre os pavimentos permeáveis e procedimentos de ensaios, foram feitas poucas adaptações no ensaio de permeabilidade a fim de possibilitar a realização do ensaio.

Segundo a norma, para o ensaio, é necessário um anel de transparente com 300 mm de diâmetro e pelo menos 50 mm de altura, o uso de no mínimo 20 litros de água limpa, um cronômetro digital, massa de calafetar para impermeabilizar frestas do anel e o próprio pavimento permeável a ser testado. No contexto desta pesquisa, não existe um pavimento e sim corpos de prova com 100 mm de diâmetro, o que fez com que fosse criado um anel com esse diâmetro e com 90 mm de altura. O volume de água utilizado foi o mínimo exigido pela norma, ou seja, 20 litros. Por se tratar de um corpo de prova e para otimizar os resultados do ensaio, decidiu-se usar uma lona de borracha para vedar as laterais do corpo de prova, forçando assim a água que entra no topo do elemento a atravessá-lo até o orifício de saída.

No começo do procedimento, era realizado uma pré-molhagem no corpo de prova e, logo em seguida, o volume de água era inserido no elemento e assim o cronômetro começava a contar o tempo e, durante o ensaio, buscava-se deixar uma lâmina de água entre 20 e 30 mm para manter um ritmo de constância e, após a água desaparecer do topo do corpo de prova, a contagem parava. O ensaio era feito em dois corpos de prova do mesmo traço para se fazer uma média do tempo.

Figura 2 e 3 - Ensaio com o permeâmetro desenvolvido e corpos de prova usados no ensaio



Fonte: Dos próprios autores.

No cálculo do coeficiente de permeabilidade, a NBR 16416 (2015) considera um pavimento com ótima permeabilidade, quando o coeficiente k é igual ou maior que 10^{-3} (m/s), pois, quando for menor do que este valor, o pavimento pode ser de média permeabilidade até impermeável.

No cálculo do coeficiente de permeabilidade, foi aplicada a seguinte fórmula: (1)

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

Sendo:

“C”: é um fator de correção de unidades do SI dado na norma como uma constante;

“m”: massa de água em quilogramas;

“d”: diâmetro interno do anel em milímetros e,

“t”: tempo em segundos.

O resultado (k) é dado em mm/h e pode se converter para m/s para um melhor padrão.

e) Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram:

- **Agregado miúdo e graúdo** - Foram utilizados dois tipos: como agregado miúdo, areia grossa e como agregado graúdo, a brita 0.
- **Aglomerante** - o CP II-E-32, também conhecido como cimento Portland composto por escoria granulada de alto forno, será utilizado como aglomerante, já o segundo aglomerante

usado foi o CP II-Z-32 pela presença da Pozolana e todos os decorrentes benefícios no quesito ganho de resistência. Outras informações dadas pela NBR NM 11578 (1991).

- **Água de amassamento** - A água de amassamento utilizada na produção das amostras foi água potável fornecida pelo sistema de abastecimento da cidade de Santa Fé do Sul, São Paulo.

- **Demais equipamentos** - Os equipamentos básicos envolvidos no desenvolvimento do projeto foram: betoneira, moldes cilíndricos para moldagem dos corpos de provas, mesa vibratória e permeâmetro.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos encontram-se nas tabelas 2 e 3. A tabela 2 traz os resultados do ensaio de compressão axial.

Tabela 2 - Resultados de compressão axial

Traço	Composição	a/c	Nº CPs	kN	MPa	Média MPa	Média kN
M1-E	100% Areia	0,34	3	141,85	18,1	18,77	147
				153,5	19,6		
				145,65	18,6		
M2-Z	100% Areia	0,34	3	158,9	20,28	19,03	147,2
				140,24	18,66		
				142,38	18,17		

Fonte: Dos próprios autores.

Nesta tabela, pode-se observar que não houve mudanças significativas na resistência à compressão, mesmo com tipos de cimento distintos, porém com as mesmas proporções e métodos de compactação (manual e mecânico).

A tabela 3 traz a média dos resultados do ensaio de permeabilidade nos traços estudados.

Tabela 3 – Resultados (médias) do ensaio de permeabilidade nos traços com CP II-Z e CP II-E

Traço	Tempo 1 (s)	Tempo 2 (s)	Média (s)	K (mm/h)	K(m/s)
M1-E	482	544	513	17870,04	4,95x10 ⁻³
M2-Z	538	518	528	17362,37	4,82x10 ⁻³

Fonte: Dos próprios autores.

Analisando a tabela 3, nota-se que todos os traços ficaram balanceados na sua permeabilidade e ambos satisfatórios na absorção, o que mostra que a compactação foi homogênea nos dois traços e o tipo de cimento não causa mudança significativa na permeabilidade, mas sim, na sua compactação.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que, dos cimentos testados, o cimento pozolânico (CP II- Z) não demonstrou maiores resistências ou vantagens em relação ao CP II- E, tanto no quesito de resistência, quanto no quesito de permeabilidade, porém percebeu-se que a qualidade dos materiais integrantes do traço, método de compactação e método de cura são extremamente importantes, pois estão diretamente ligados à durabilidade e permeabilidade. Dentre esses cuidados, a compactação deve ter cuidados dobrados para não prejudicar a permeabilidade ou a resistência.

Provavelmente, a pozolana não consegue ter uma ligação perfeita com os agregados do cimento, fazendo com que alguns de seus efeitos positivos sejam anulados devido aos excessos de vazios na mistura e ao pouco uso de água durante a fabricação do traço.

Comparando com outros estudos feitos com esse pavimento, esse método de compactação usado atribuiu, em média, três vezes mais resistência do que os traços semelhantes que não contavam com a compactação mecânica.

Ainda que o uso e as pesquisas sobre pavimento permeável não sejam populares no Brasil, ele tem um futuro muito promissor nas grandes metrópoles, principalmente, em áreas residenciais, pois além de abastecer os lençóis freáticos, ajuda a aliviar a demanda de vazão dos sistemas de drenagem tradicionais podendo evitar ou, pelo menos, amenizar as enchentes que acontecem em áreas pouco permeáveis e causam inúmeros prejuízos.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Porto Alegre: LUME, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5843>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR NM 11578 – 1991. **Concreto**: cimento portland composto. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=77782> substituída por: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4486> substituída por: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=400221>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 16416 – 2015. **Pavimentos permeáveis de concreto**: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=337893>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR NM 5739 – 2007. **Resistência à compressão axial**. Rio de Janeiro -RJ. Disponível em:

<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=767> substituída por:
<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398444>

BATEZINI, R. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>

ESTEVES, R. L. Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/2935>