

Pervious concrete: study of dosage and polypropylene fibers addiction

Concretos drenantes: estudo de dosagem e adição de fibras de polipropileno

S. E. PILS^a

silvio@unochapeco.edu.br
<https://orcid.org/0000-0003-0361-7658>

P. OLIVEIRA^{a,b}

poliveira@unochapeco.edu.br
<https://orcid.org/0000-0001-8835-6324>

F. REGOSO^a

felipe_regoso@unochapeco.edu.br
<https://orcid.org/0000-0002-0270-0495>

V. A. PAULON^c

vpaulon@yahoo.com.br
<https://orcid.org/0000-0002-1061-9902>

M. F. COSTELLA^{b,c}

costella@unochapeco.edu.br
<https://orcid.org/0000-0001-6471-9848>

Abstract

The use of pervious concrete to minimize the effects caused by the impermeability of the soil as a result of increasing urbanization is an alternative that still requires further studies regarding its design and implementation. From this perspective, this paper presents a study of the characteristics of pervious concrete, including its tensile strength, compressive strength, flexural strength and the permeability coefficient, through the development of various mixtures to adjust the characteristics of the local aggregates. Eight mixtures were studied based on a reference mixture, five of which were related to the pervious concrete with the addition of finer aggregates than the reference mixture without these aggregates. Subsequently, three mixtures were studied with the inclusion of polypropylene fibers in order to analyze the effects of the addition of fibers on the properties of the pervious concrete. It is concluded that the presence of fibers changed the characteristics of the concrete, increasing its strengths while achieving a good permeability in its mixtures. An improvement in the flexural strength of the pervious concrete was observed, which is the main property to be considered for its use in pavements, without harming the permeability, which raises the possibility for its application.

Keywords: pervious concrete, tests, fibers.

Resumo

Utilizar concreto permeável para minimizar os efeitos causados pela impermeabilidade do solo causado pela crescente urbanização é uma alternativa que ainda necessita de estudos quanto à sua concepção e aplicação. Seguindo esta linha, o presente artigo apresenta um estudo das características do concreto drenante, tal como a resistência à tração, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade, através do desenvolvimento de vários traços, para ajustar às características dos agregados locais. A partir de um traço referência, foram estudados oito traços, sendo cinco referentes ao concreto drenante com adição de agregados mais finos ao traço referência sem estes agregados. Posteriormente estudou-se três traços com a inclusão de fibras de polipropileno, com o objetivo de analisar os efeitos que a adição de fibras causa nas propriedades do concreto drenante. Concluiu-se então, que a presença das fibras alterou as características do concreto, levando o mesmo a atingir maiores resistências, aliadas a uma boa permeabilidade em seus traços, verificando-se assim a melhoria de capacidade de resistência à tração na flexão do concreto drenante, principal propriedade para uso em pavimentos, sem prejudicar a permeabilidade e avaliando a possibilidade de aplicação do mesmo.

Palavras-chave: concreto permeável, ensaios, fibras.

^a Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, SC, Brasil;

^b Concreoste, Chapecó, SC, Brasil;

^c Faculdade Meridional, Porto Alegre, RS, Brasil.

Received: 23 Oct 2015 • Accepted: 23 Jul 2018 • Available Online:

 This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License

1. Introdução

O crescimento da urbanização que leva a maior impermeabilização do solo em função do revestimento de ruas, passeios e edificações traz impactos cada vez crescentes ao meio ambiente, exigindo que a construção civil encontre alternativa que evitem futuros problemas como inundações ou enchentes. Estas superfícies revestidas chegam a ocupar 30% da área da bacia de drenagem segundo a ABCP [1]. Se considerar o coeficiente de escoamento ou deflúvio superficial, segundo Marchioni et al. [2], área de edificação muito densa podem ter coeficientes de escoamento de 0,70 a 0,95, o que representa que até 95% da chuva gera escoamento superficial.

De acordo com Merighi et al. [3], o concreto drenante é uma alternativa que auxilia a drenagem urbana e facilita a infiltração da água diretamente para o solo. No entanto, no Brasil a sua utilização está em fase inicial, portanto, sua aplicação ainda é restrita, fato este explicado pela ausência de conhecimento adequado em relação ao comportamento mecânico, hidráulico e da potencialidade de aplicação do material por parte de projetistas e profissionais ligados à área. Segundo a ACI 522R-06 [4], utilizações típicas são: pavimentos para estacionamentos, estradas municipais, calçadas, áreas de pedestres em zoológicos, parques, decks de piscinas entre outras. Conforme a norma ACI 522R-06[4], concreto drenante é descrito tipicamente como um concreto de slump 0 (zero), de graduação aberta, com nenhum ou pouco agregado fino, teor de vazios variando entre 18 a 35% e resistência à compressão entre 2,8 a 28 MPa, com permeabilidade de 0,0135 a 0,122 cm/s (unidades já transformada).

Para a ABNT [5], o pavimento drenante moldado no local deve ter resistência mecânica de tração na flexão de pelo menos 2,0 MPa e permeabilidade de 0,100 cm/s, não sendo considerado o requisito de resistência à compressão.

Com o intuito de melhorar o desempenho do concreto drenante, Rodrigues e Montardo [6] afirmam que o emprego de fibras plásticas de polipropileno como elementos de reforço no concreto tem crescido nos últimos anos no Brasil. Há diversas obras em que foram utilizadas fibras de polipropileno: barragens, túneis, pontes, canais de irrigação, estações de tratamento de águas e esgoto e, principalmente, em pavimentos e pisos de concreto. O polipropileno é quimicamente inerte, não absorve água, não enferruja, possui baixo custo e é de fácil disponibilidade. Neste sentido a utilização de fibras de polipropileno se torna mais adequada que a de fibras metálicas, em função da corrosão e da necessidade de melhorar o desempenho da tração na flexão, requisito fundamental para concreto de pavimentos.

Quando a matriz cimentícia é reforçada com fibras, muitas das propriedades são alteradas: trabalhabilidade, resistência à compressão, módulo de ruptura (resistência à tração na flexão), resistência à tração direta, resistência ao impacto, resistência à fadiga, aumento da tenacidade, inibição de propagação de fissuras. A determinação do teor ótimo é importante para que se ganhe em eficiência e economia, especialmente nas principais propriedades ao uso ao qual se destina. Em função dos poucos estudos do comportamento de concreto drenante com uso de fibras, estudos de traços com teores diversos de fibras ganham em importância, sendo este um dos objetivos deste trabalho.

O comportamento na pós-fissuração como estudo comportamental, não será avaliado, pois como o concreto drenante tem um teor de vazios elevado, sendo por isto importante estudar o comportamento da principal propriedade mecânica de um material para pisos (tração na flexão), apesar de saber que o comportamento de concretos com fibras na pós-fissuração é melhor e com menor dimensão de fissuras (Rodrigues e Montardo [6]) e o provável aumento de tração na flexão pode explicar este comportamento. O estudo de fibras de polipropileno em concreto drenante merece avaliações do comportamento, sendo este um dos objetivos deste trabalho.

Neste contexto geral, este artigo tem com objetivo observar e analisar o comportamento nas propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à tração na compressão diametral e resistência à tração na flexão) e do coeficiente de permeabilidade em diferentes traços de concreto drenante com e sem adição de fibras de polipropileno.

2. Referencial teórico

Segundo McCain e Dewoolkar [7], estados do Norte dos Estados Unidos vêm sendo lentos na adoção do uso de concreto drenante, realidade decorrente da falta de dados sobre seus efeitos e comportamento. Shu et al. [8], destacam que há uma necessidade de testes laboratoriais para definir traços adequados, estudando diferentes tipos de agregados, sua graduação e diferentes adições, fatos estes também destacados por Lian e Zhuge [9].

Em relação à permeabilidade, o NCPTC [10] aponta valores entre 0,0254 e 0,6096 cm/s para considerar um concreto como drenante, enquanto a ACI 522R-06[4] tipifica valores entre 0,0135 a 0,122 cm/s. Segundo o Environmental Protection Agency [11], o concreto drenante apresenta algumas desvantagens, sendo: a tendência à obstrução do pavimento por sujeiras, caso seja instalado ou mantido de forma inadequada; risco de falha considerável caso seja mal construído ou se houver colmatação; contaminação do aquífero dependendo de como são as condições do solo e a suscetibilidade do aquífero; está sujeito a poucas perícias dos engenheiros nos pavimentos. Teixeira e Fortes [12] concluem ainda que o concreto drenante possui custos economicamente viáveis, porém sua resistência à compressão e à tração é muito menor do que os concretos convencionais. Neste sentido, Lian e Zhuge [9] destacam que em função destas resistências baixas a utilização tem ficado quase que restritamente a pavimentos.

2.1 Estudos realizados em concreto drenante

Ibrahim et al. [13] estudaram 24 traços para verificar a variação da propriedades com a variação das diferentes frações de agregados, da variação da relação água cimento, do teor do cimento e concluíram, entre outros fatores, que as máximas resistências à compressão para traços sem agregados miúdos tem-se com teores de cimento em torno de 250 kg/m³ e diminuindo 75% quando a relação baixa para 150 kg/m³.

Lian e Zhuge [9] concluíram que o uso de materiais finos com graduação entre 9,5 e 2,4 mm aumentam as propriedades de resistência do concreto drenante. Porém, o uso de finos muito pequenos, como a sílica ativa não altera significativamente a resistência, pois as partículas muito finas, devido à porosidade do concreto

tendem a segregar. Batezini [14] concluiu que a adição de agregados miúdos em concretos para a melhoria das resistências mecânicas é uma possibilidade, especialmente quando o coeficiente de permeabilidade das misturas apresentam valores mais elevados. Nesse estudo os valores de permeabilidade foram de 0,14 cm/s e os de resistência à tração na compressão diametral e resistência à tração na flexão ficaram para as três misturas entre 57 e 71%. Baseando-se na elaboração de traços de concreto drenante com cinco granulometrias diferentes de agregados de origem granítica, Merighi et al. [3] objetivavam encontrar uma mistura que apresentasse boa resistência mecânica para ser utilizada em camada de revestimento de pistas aeroportuárias e viárias. Os melhores resultados quanto às resistências aos 28 dias foi de 31,6 MPa à compressão e 3,0 MPa à tração no qual se utilizou agregados menores que os demais traços, baixa relação *a/c*, um aditivo superplastificante e micro sílica. Entretanto, Merighi et al. [3] afirmam não ser recomendável o uso desse concreto como camada drenante, pois apresentou coeficiente de permeabilidade na ordem de 10^{-3} cm/s.

A discrepância entre permeabilidade e resistência, estudada por Kajio et al. [15] e Tennis et al. [16], é normalmente ditada pela quantidade de agregado miúdo utilizado nos traços, sendo que uma maior quantidade deste diminui o índice de vazios, aumentando a resistência e diminuindo a permeabilidade. A identificação da otimização entre vazios, permeabilidade e resistências são os desafios dos pesquisadores, quando dos ajustes aos agregados locais, sendo este um dos objetivos deste trabalho.

Cosic et al. [17] estudaram a variação da propriedades do concreto drenante em função da variação do tipo de agregado e seu tamanho e entre os resultados encontrados, concluíram de forma surpreendente, que o tipo de agregado influencia mais significativamente na permeabilidade do que o seu tamanho. Lian e Zhuge [9] também encontraram diferenças nos valores de permeabilidade em função de diferentes tipos de agregados.

Bonicelli et al. [18] pesquisaram a diferença nas propriedades do concreto drenante quando se utiliza diferentes níveis de compactação do concreto, além da influência da adição de areias, e os resultados sugeriram que o acréscimo de areia em torno de 5% da massa total de agregado melhora as propriedades mecânicas, com destaque de aumento de até 75% na resistência à tração, porém com decréscimo na permeabilidade, porém sem comprometer a capacidade de drenagem do concreto.

Maguesvari e Narasimha [19] estudaram a influência de agregados graúdos e miúdos no concreto drenante e concluíram que o aumento de finos reduz a permeabilidade, porém aumenta a resistência à compressão e a resistência à flexão, tornando um material apropriado para pavimentos de tráfego leve.

2.2 Estudos realizados em concreto com fibras de polipropileno

Em estudo realizado por Senisse e Dal Molin [20], foram moldados três traços de concreto diferentes para cada uma das misturas avaliadas, utilizando um teor de argamassa de 55% e relações *a/c* variando entre 0,34 e 0,68. Três tipos de concreto foram elaborados: concreto convencional (referência-CC), concreto reforçado com macrofibras de polipropileno (CF) e concreto reforçado com

macrofibras e aditivo superplastificante (CFSP), com teor de 600 g/m³ de adição das fibras e de 0,32% de superplastificante em relação à massa de cimento. Os resultados mostraram que a inserção de macrofibras majorou significativamente (39% a resistência à tração na flexão para os CF e 27% para os CFSP, mesmo que a resistência à compressão tenha diminuído, no caso dos CF). Também concluíram que a adição de fibras no concreto teve um aumento insignificante no custo (SENISSE; DAL MOLIN [20]).

Perrone et al. [21] comentam em estudo que a adição de fibras não metálicas pode ajudar a superar os problemas com a corrosão e melhorar o desempenho estrutural. Gesoglu et al. [22] estudaram as propriedades do concreto drenante com a adição de diferentes tipos de resíduos de borrachas de pneus em fibras e concluíram que é possível obter concretos drenantes com maior resistência à compressão ou melhor permeabilidade dependendo das características do resíduo, mas que, na média, concretos com resíduos tem menores propriedades de resistência e queda na permeabilidade quando comparados ao traço referência, sem resíduos, porém a energia de fratura aumentou com as aparas de pneus, sendo a utilização do mesmo viável em áreas de estacionamento.

Hesami et al. [23] estudaram o uso de diversos materiais, entre eles a fibra de vidro, com teor de 0,2 % em concreto drenante, e observaram um aumento de até 30 % na resistência à tração e de até 64% na resistência à tração na flexão, corroborando a tendência de aumento das propriedades mecânicas com o aumento da porcentagem do material, com decréscimo gradual após a porcentagem ótima.

Amaral Junior [24] e Lucena [25] observaram que o uso de fibras poliméricas usualmente faz com que haja uma redução da resistência à compressão axial, porém a resistência à tração na flexão aumenta. Em estudo realizado por Guimarães et al. [26] para a resistência à tração na flexão verificou-se que o melhor desempenho se deu para a o teor de fibras de 1%. Rehder et al. [27] também observaram esse fato, pela possibilidade dos poros estarem ligados por fibras, havendo contribuição das fibras para melhorar a capacidade de flexão residual, principalmente em porosidades mais elevadas. Neste sentido, este trabalho busca averiguar a relação do uso de fibras em diversas proporções no comportamento de concretos drenantes.

3. Procedimentos metodológicos

Estudar traços de concreto com a utilização de materiais regionais a partir de um traço de concreto drenante, sem areia, e a partir deste verificar o comportamento das propriedades mecânicas e na permeabilidade, quando se adicionam diferentes teores de areia, é um dos objetivos deste trabalho. Também busca se observar a influência da adição de fibras não metálicas, no caso o polipropileno, nas propriedades citadas, especialmente no comportamento da tração na flexão e permeabilidade, já que estes são os parâmetros indicados pela NBR 16416 (ABNT [5]).

Então, a partir de traços pré-determinados por outros pesquisadores que apresentaram resultados razoáveis entre resistência e permeabilidade (Polastre e Santos [28]; Sales [29]; Kajio et al. [15]; Tennis et al. [16]), foi definido um traço referência (traço A) contendo somente cimento e brita 1. Foram então estudados mais quatro traços (B, C, D e E), para verificar a influência da adição de brita 0 e areia nas propriedades de resistência à compressão, à

Tabela 1
Especificações técnicas do Cimento Cauê

Finura		Massa específica (g/cm ³)	Pega		Resistência a compressão (MPa)			
#200 (75 mm)	#300 (45 mm)		Início (min)	Fim (min)	1 dias	3 dias	7 dias	28 dias
2,7	10,7	3,06	190	290	14,4	28,6	32,8	41,0

Tabela 2
Características do aditivo superplastificante

Parâmetro	Unidade	Especificação	Resultados	Métodos
Aspecto	-	Líquido	Aprovado	Visual
Cor	-	Marrom claro	Aprovado	Visual
pH (puro) - 25°C	-	3.00 a 5.00	4.17	NBR 10908:2008
Massa espec. - 25°C	g/cm ³	1.062 a 1.102	1.082	NBR 10908:2008
Teor de sólidos	%	38.25 a 42.75	39.92	NBR 10908:2008

tração na compressão diametral e na flexão e na permeabilidade. Para cada traço foram elaborados 6 corpos de prova (CPs) para resistência à compressão axial, 6 CPs para resistência à tração na compressão diametral, 6 CPs para resistência à tração na flexão, sendo que foi adotado para cada um deles o maior valor (resistência potencial, já que se tratava de concretos de mesma betonada) e 6 CPs para estudo da permeabilidade, sendo que neste caso foi adotada a média dos valores. Os procedimentos de moldagem, cura e execução dos ensaios seguiram os procedimentos estabelecidos pelas normas brasileiras da ABNT.

Posteriormente para o traço D (que já continha brita 0 e areia) foi estudada em mais três traços a influência da adição de fibras de polipropileno (1, 2 e 3 kg/m³) nas propriedades referenciadas acima. Os teores foram baseados nos estudos de Guimarães et al. [26] e Reyes e Torres [30].

Quando houve diferenças significativas das propriedades nos valores esperados e valores obtidos, foram refeitos os estudos para

verificar se era uma tendência ou simples erro de procedimento, sendo que no caso do traço D, se constatou que no estudo inicial houve erro de procedimento na elaboração da betonada.

As propriedades mecânicas estudadas são as mais significativas para um concreto drenante, porém a influência do efeito de compactação do concreto, comportamento sob ações cíclicas, desgaste à abrasão, entre outros também podem merecer estudos específicos, quando da aplicação do mesmo em pavimentos de tráfegos leves.

3.1 Caracterização dos materiais

O cimento utilizado para os ensaios foi o CP II-E a granel. Não foram efetuados ensaios em laboratório para o cimento, sendo utilizadas especificações técnicas fornecidas pelo fabricante conforme a tabela 1.

Para a areia média proveniente de União da Vitória foram realizados ensaios de caracterização em laboratório referentes à massa unitária, módulo de finura e diâmetro máximo do agregado miúdo. Para a brita 0 e brita 1, ambas de origem basáltica e produzidas em um britador localizado em Cordilheira Alta – SC, foram determinados a massa unitária, módulo de finura e diâmetro máximo do agregado. O aditivo utilizado foi o superplastificante MAXIFLUID 900. Na tabela 2 estão os dados de análise do aditivo fornecidos pelo fabricante, pois não foram efetuados ensaios em laboratório. A quantidade de aditivo utilizada para todos os traços foi de 1% em relação à massa de cimento, conforme indicações do fabricante.

As fibras de polipropileno e suas especificações foram fornecidas por uma empresa localizada em São José-SC:

- Álcali resistente;
- Comprimento: 50 mm (frisada);
- 27.000 fios por kg;
- 350 MPa de resistência à tração (por filamento);
- Twist – ancoragem;
- 50 FF – fator forma, caracterizada como macro-fibra (Figura 1);
- Espessura: 0,9 mm;
- 110%: alongamento por ruptura;



Figura 1
Macrofibras de polipropileno utilizadas

Tabela 3

Resumo dos traços

Material	Traços				
	A	B	C	D	E
Cimento	1	1	1	1	1
Brita 1	4	4	4	3	3
Brita 0	-	-	1	1,3	1,3
Areia média	-	0,5	0,5	0,5	1
Aditivo	1% peso cimento				
Relação a/c	0,25	0,25	0,25	0,30	0,35

■ Matéria-prima: monofilamentos de polipropileno.

A água utilizada era proveniente de lençol subterrâneo localizado na cidade de Chapecó-SC.

3.2 Traços

Os ensaios de concreto drenante foram realizados com cinco traços distintos, todos elaborados com embasamento no que sugere Polastre e Santos [28]; Merighi et al. [3] e Teixeira e Fortes [12]. De acordo com estes pesquisadores, o concreto drenante deve ter a relação de agregados graúdos entre 4 e 4,5 para 1 de cimento, a relação da areia entre 0 e 1 para 1 de cimento, e a relação a/c deve estar entre 0,27 e 0,40. A partir destes estudos, foi elaborado o traço referência.

A partir do traço A, foram estudados mais 04 traços acrescentando-se areia e brita 0, conforme se observa na tabela 3. Para os traços D e E, durante os ensaios preliminares observou-se a necessidade de aumentar a relação a/c, fato este explicado pela maior presença de finos. Cabe ressaltar que se optou por limitar o aditivo em 1% do peso de cimento.

3.3 Adição de fibras

Para definir a composição de um concreto drenante com adição de fibras de polipropileno foi baseada em estudos de Reyes e Torres [30]. A partir do traço D, que apresentou boa relação entre as propriedades de resistência e permeabilidade, foram realizadas

**Figura 2**

Aspecto do concreto drenante no traço D1

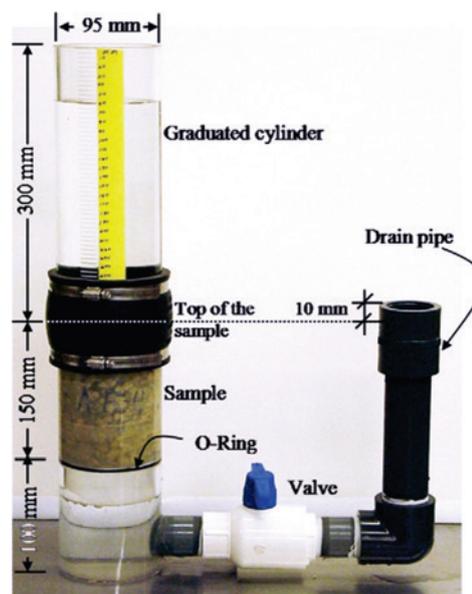
três adições de diferentes teores de fibras de polipropileno:

- Pouca adição de fibras (traço D1): 1 kg/m³ (Figura 2);
- Média adição de fibras (traço D2): 2 kg/m³;
- Alta adição de fibras (traço D3): 4 kg/m³.

3.4 Permeabilidade

O ensaio de permeabilidade foi realizado baseado no experimento realizado por Neithalath et. al [31]. Segundo os mesmos autores, o equipamento deve conter um tubo de material transparente (contendo o corpo de prova de 15 cm de altura) para que seja possível visualizar o fluxo percorrido pela água quando for despejada (Figura 3).

O tubo transparente que é encaixado acima do local onde está acoplado o concreto deve possuir diâmetro um pouco maior que permita o encaixe, sendo que este deve ser vedado para impedir a saída de água neste local. Abaixo do recipiente que está o concreto há uma tubulação horizontal de 50 mm de diâmetro, possuindo em sua parte intermediária uma válvula para controle da água e, logo após segue um tubo na vertical, que está 10 mm acima do corpo de prova de concreto.

**Figura 3**

Modelo de permeâmetro utilizado



Figura 4
Ensaio de abatimento com slump zero

Ainda de acordo com Neithalath et al. [31], o ensaio deve ser realizado com adição de água a ponto de que o concreto fique saturado, atingindo o nível máximo na tubulação vertical, que está 1 cm abaixo do corpo de prova. Em seguida deve ser fechada a válvula e deve-se completar com água até a marca de 290 mm (h0) acima do tubo horizontal. Depois de preenchido de água, a válvula é aberta e o tempo é cronometrado até o momento em que seja atingida a marca 70 mm (h1). Este procedimento deve ser repetido por 3 vezes e deve-se efetuar a média aritmética entre os valores obtidos.

A permeabilidade é obtida através da Lei de Darcy, apresentada abaixo:

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot \Delta t} \cdot \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \quad (1)$$

Sendo:

k: Coeficiente de permeabilidade, em cm/s;

a: Área interna do reservatório, em cm²;

A: Área da amostra de concreto, em cm²;

L: Altura do corpo-de-prova, em cm;

Tabela 4
Resistência à compressão axial

Traços	Resistência (MPa)		% aos 28 dias em relação ao traço referência
	7 dias	28 dias	
A: (1:4:0:0) (referência)	1,16	2,58	100 %
B: (1:4:0:0,5)	1,47	2,44	94,6 %
C: (1:4:1:0,5)	2,56	4,24	164,3 %
D: (1:3:1,3:0,5)	2,60	4,10	158,9 %
E: (1:3:1,3:1)	4,31	4,66	180,6 %

Tabela 5
Resistência à tração na compressão axial aos 28 dias

Traço	Resist. à tração na compressão diametral (MPa)	% em relação ao traço referência
A: (1:4:0:0) (referência)	0,54	100 %
B: (1:4:0:0,5)	0,36	66,7 %
C: (1:4:1:0,5)	1,94	359,3 %
D: (1:3:1,3:0,5)	1,92	355,6 %
E: (1:3:1,3:1)	2,59	479,6 %

h0: Altura inicial da água, em cm;

h1: Altura final da água, em cm;

Δt: Tempo de percolação da água do ponto h0 até h1, em segundos.

Foram efetuadas algumas alterações no ensaio em relação ao procedimento base, sendo estas:

- corpo de prova de concreto drenante com 20 cm de altura;
- o corpo de prova era acoplado em um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro;
- a tubulação menor era de PVC e possuía 25 mm de diâmetro;
- o registro de esfera utilizado possuía 25 mm de diâmetro.



Figura 5
Ensaio de tração na flexão

Tabela 6
Resistência à tração na flexão aos 28 dias

Traço	Resist. à tração na flexão (MPa)	% em relação ao traço referência
A: (1:4:0:0) (referência)	1,70	100 %
B: (1:4:0:0,5)	2,45	144,1 %
C: (1:4:1:0,5)	2,52	148,2 %
D: (1:3:1,3:0,5)	2,49	146,5 %
E: (1:3:1,3:1)	6,35	373,5 %

Tabela 7

Resultado da permeabilidade

Traço	K (cm/s)
A: (1:4:0:0) (referência)	0,093
B: (1: 4: 0: 0,5)	0,121
C: (1: 4: 1: 0,5)	0,103
D: (1: 3: 1,3: 0,5)	0,110
E: (1: 3: 1,3: 1)	0,078

4. Resultados e discussões

4.1 Resultado e análise dos agregados

Para a brita 1 foi encontrado um módulo de finura de 6,94 e uma dimensão máxima de 19 mm. Sua massa unitária é de 1.511,7 kg/m³. Para a brita 0 foi encontrado um módulo de finura de 5,77 e uma dimensão máxima de 9,5 mm. Sua massa unitária é de 1.533,7 kg/m³. Para a areia foi encontrado um módulo de finura de 2,36 e uma dimensão máxima de 4,8 mm. Sua massa unitária é de 1.617,8 kg/m³ e a curva granulométrica classificou a mesma como sendo areia média – zona 3.

4.2 Resultados das propriedades dos traços sem fibras

4.2.1 Abatimento do tronco de cone (slump test)

A fim de analisar a consistência do concreto drenante foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 4) e para todos os testes realizados encontrou-se slump 0 (zero) cm. AACI 522R-06[4] classifica o concreto drenante como concreto com slump zero.

Dado ao fato de este concreto possuir baixa finura em sua dosagem, baixa relação a/c e pouca pasta, o mesmo apresenta baixa trabalhabilidade, exigindo maiores cuidados de manuseio e vibração, sendo sugerida a utilização de vibração energética, conforme sugere a ACI 522R-06[4]. Considerando que uma das principais aplicações do concreto drenante é o uso em pavimentações, o estudo do adensamento através de placa vibratória ou de rolo compactador pode ser viável, melhorando as características das propriedades mecânicas, porém deve ser verificada a permeabilidade.

4.2.2 Compressão axial

Como pode ser visualizado na tabela 4, o traço E foi o que apre-

Tabela 8

Resistência à compressão axial após adição de fibras aos 28 dias

Traços	Resistência (MPa)	% aos 28 dias em relação ao traço referência
D: referência – sem fibras	4,10	100 %
D1: com fibras 1 kg/m ³	3,46	84,4 %
D2: com fibras 2 kg/m ³	3,69	90,0 %
D3: com fibras 4 kg/m ³	2,32	56,6 %

sentou maior resistência aos 7 e 28 dias. De modo geral a adição de areia e brita 0 faz aumentar a resistência à compressão, o que já era esperado, mesmo nos traços D e E onde a relação água/cimento teve que ser aumentada de 0,25 para 0,30 e 0,35, respectivamente. Este acréscimo da relação a/c foi necessário para poder resultar numa mistura mais homogênea em função do agregado mais fino, já que nas misturas preliminares o concreto apresentava dificuldade de manuseio.

4.2.3 Tração na compressão diametral

Para este ensaio, conforme se observa na tabela 5, o traço que obteve melhor resistência foi o E, com valor de 2,59 MPa. A adição de areia e brita 0 faz aumentar a resistência à tração à compressão diametral, com ganhos relevantes especialmente quando se adicionou brita 0 nos traços. Este fato é devido ao maior empacotamento da estrutura do concreto pela presença de agregados mais finos.

4.2.4 Tração na flexão

Da mesma forma que no ensaio anterior, manteve-se a tendência, com um ganho considerável no traço E, especialmente por se ob-

**Figura 6**

Ruptura à compressão axial de concreto drenante com fibras

Tabela 9

Resistência à tração na compressão axial após adição de fibras aos 28 dias

Traços	Resistência (MPa)	% aos 28 dias em relação ao traço referência
D: referência – sem fibras	1,92	100 %
D1: com fibras 1 kg/m ³	0,82	42,7 %
D2: com fibras 2 kg/m ³	1,46	76,1 %
D3: com fibras 4 kg/m ³	1,43	74,5 %

servar nos corpos de prova rompido que o traço E apresentava uma homogeneidade maior que os demais traços (Tabela 6). Os valores de tração na flexão (Figura 5) apresentaram-se maiores que da tração na compressão diametral, sendo que Batezini [14] também observou esta tendência com valores de 3 a 4 vezes maiores. Sob a ótica da ABNT [5], com exceção do traço A, todos os demais apresentam resistência à tração na flexão adequada ($\geq 2,0$ MPa) para áreas de tráfego leve, com espessura mínima de 10 cm.

4.2.5 Permeabilidade

Pelos resultados da tabela 7, o traço E foi o que apresentou menor permeabilidade, em consequência do menor índice de vazios, resultante da maior presença de areia e brita 0. Já a tendência era que o traço A atingisse uma das melhores permeabilidades por não possuir areia em sua dosagem, porém, a tendência não se concretizou e o traço que atingiu melhores resultados foi o B. Sob a visão da ABNT [5], com exceção dos traços A e E, todos os demais apresentam a permeabilidade mínima recomendada. Pode-se, a partir dos resultados acima, concluir que a adição de areia em concretos drenantes para pavimentos moldados no local é benéfica, aumentando as resistências mecânicas. A diminuição da permeabilidade com valores abaixo dos recomendados pela NBR 16416 (ABNT [5]), somente se observa quando os teores de areia passam de 35%.

4.3 Resultados das propriedades dos traços com adição de fibras

4.3.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone

Foi realizado o ensaio da consistência pelo abatimento do tronco

Tabela 10

Resistência à tração na flexão após adição de fibras aos 28 dias

Traços	Resistência (MPa)	% aos 28 dias em relação ao traço referência
D: referência – sem fibras	2,49	100 %
D1: com fibras 1 kg/m ³	1,26	50,6 %
D2: com fibras 2 kg/m ³	2,74	110,0 %
D3: com fibras 4 kg/m ³	2,92	117,3 %

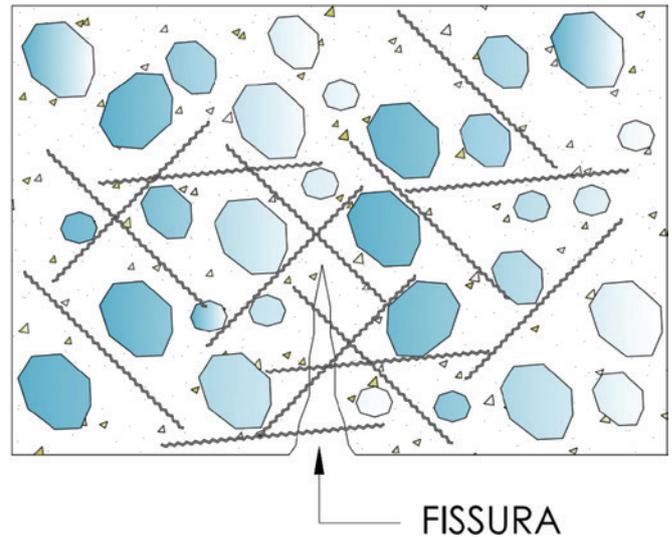


Figura 7
Macrofibras agindo na região da fissura na tração na flexão

de cone, porém não houve determinação de valores para este teste, pois o concreto apresentou abatimentos próximos a zero, adequado para pavimentação com compactação mecânica enérgica.

4.3.2 Resistência à compressão axial

Na tabela 8 são apresentados os resultados de resistência obtidos no ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias (Figura 6). Observa-se que houve um decréscimo da resistência à compressão com a adição de fibras. Este fato pode-se explicar somente quando da análise dos corpos de prova rompidos. As fibras dificultaram o processo de amassamento do concreto, que por natureza já apresenta trabalhabilidade quase nula. Notou-se que houve empolamento das fibras em certas partes do concreto, gerando um elo fraco, onde se gerou as zonas de fratura. Isto sugere que o processo de adição de fibras requer um cuidado muito grande, além de um processo de amassamento que torne a mistura mais homogênea.

4.3.3 Resistência à tração na compressão diametral

O concreto que apresentou maior resistência à tração na compressão diametral foi o traço D2, com um valor de 1,46 MPa aos

Tabela 11

Permeabilidade dos concretos com fibra

Traços	Permeabilidade k (cm/s)	% em relação ao traço referência
D: referência – sem fibras	0,110	100 %
D1: com fibras 1 kg/m ³	0,124	112,7 %
D2: com fibras 2 kg/m ³	0,107	97,3 %
D3: com fibras 4 kg/m ³	0,100	90,9 %

Fonte: desenvolvido pelos autores

28 dias. O fato de o traço D1 possuir uma menor quantidade de fibras em sua composição que os traços D2 e D3 interferiu de maneira a proporcionar um ganho de resistência pequeno, ficando próximo da resistência do traço D referência, que não possui fibras em sua composição. Já a relação entre os valores dos traços D3 e D2 segue a mesma lógica explícita na compressão axial, onde mesmo possuindo o dobro de fibras que D2, D3 apresentou menor resistência (Tabela 9).

4.3.4 Resistência à tração na flexão

No caso de resistência à tração na flexão, o traço D3 foi o que apresentou maior resistência aos 28 dias (2,92 MPa). A partir da tabela 10, concluiu-se que o aumento de resistência deu-se de maneira conjunta ao aumento de adição de fibras, e que diferentemente dos casos de compressão, o traço D3, que possui a maior quantidade de fibras (4 kg/m³) apresentou maior resistência à tração da flexão. Pela ABNT [5], com exceção do traço D1, os demais apresentam a resistência mecânica mínima especificada por esta norma.

A melhora do comportamento da tração na flexão, quando da adição de fibras, pode ser explicada, na pós-fissuração, quando as macrofibras fazem uma costura na região da fissura, agindo à semelhança de uma armadura, conforme a Figura 7.

4.3.5 Permeabilidade

Como se pode perceber na tabela 11, o coeficiente de permeabilidade foi maior para o traço D1. Os traços que possuíam adição de 2 kg/m³ e 4 kg/m³ de fibras de polipropileno apresentaram menor permeabilidade. O traço D3 foi o que apresentou menor permeabilidade ($k=0,0996\text{cm/s}$), enquanto o traço D1 apresentou permeabilidade de $0,1237\text{cm/s}$, sendo este o maior valor obtido entre os traços. Conforme NCPTC [10], os 3 traços realizados estão dentro dos padrões de permeabilidade para o concreto drenante. E ainda, o traço B que apresentou o maior dos valores para permeabilidade (0,121 m/s), pode ser comparado ao traço de Kajjo et al. [15] que obteve valores entre 0,025 a 0,178 cm/s. Pela ABNT [5], todos os demais apresentam permeabilidade mínima recomendada.

Pode-se então observar que a adição de fibras, quando se fala em pavimento de concreto drenante moldado no local, melhora a principal propriedade a ser considerada para uso pela NBR 16416 (ABNT [5]), que é a resistência à tração na flexão. A redução da permeabilidade com o aumento do teor de fibras indica que os teores devem estar abaixo de 4 kg/m³.

5. Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo o estudo de traços de concreto drenante para uso em pisos de concreto drenante moldado no local, verificando as propriedades de resistência à compressão, resistência à tração na compressão axial, resistência à tração na flexão e permeabilidade em traços sem adição de fibras, porém acrescentando-se brita 0 e areia ao traço referência que continha somente brita 1. Posteriormente, para um dos traços que continha brita 0 e areia, estudou-se a influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades acima descritas. Pode-se observar o seguinte:

- 1) Quando se adicionou além de areia também a brita 0, com exceção do traço B, em que pode ter ocorrido problemas de mistura e/ou moldagem, houve ganhos consideráveis das resistências, sendo que a permeabilidade começou a diminuir no traço E, quando a relação agregado brita 0 e areia com a brita 1 chegou na faixa de 43%. Nos traços C e D esta relação estava em 27% e 37%, o que indica que a adição de areia é benéfica para as propriedades mecânicas, sem afetar, até determinado teor, na ordem de 35%, a permeabilidade.
- 2) Todos os traços de concreto, com ou sem fibra apresentaram coeficientes de permeabilidade dentro do recomendado, variando de 0,124 cm/s a 0,078 cm/s, considerado na faixa do aceitável conforme a ACI 522R-06[4] e a NCPTC [10]. Se for considerada a permeabilidade exigida pela NBR 16416 (ABNT [5]), somente os traços A e E não atingiram o valor mínimo.
- 3) Para a resistência à compressão, os valores dos traços sem fibra mantiveram-se acima do valor mínimo indicado pela ACI 522R-06[4]. Deve-se destacar que este requisito não é parâmetro considerado pela NBR 16.416 (ABNT [5]).
- 4) A relação entre a resistência à tração na compressão diametral e a resistência à tração na flexão ficou entre 50 e 77%, próximos ao padrão estudado por Batezini [14] para concreto sem fibras, sendo que, portanto, a tendência se manteve nos concretos com fibras.
- 5) Para os traços com adição de fibras, apesar da diminuição da resistência à compressão, o ganho na resistência à tração torna atrativo o uso de fibras, já que o critério de atendimento de concreto drenante moldado no local da NBR 16416 (ABNT [5]), é a resistência à tração na flexão e neste critério todos os traços apresentam resistência mecânica adequada. Este aumento da resistência à tração na flexão já havia sido observado por Hesami et al. [23]. Rehder et al. [27] também citaram a contribuição da fibra na capacidade de flexão, pois a mesma, quando fibra longa (macrofibra), com comprimento igual ou maior que duas vezes o tamanho máximo do agregado, tem a capacidade de "costurar" a estrutura, após o início da fissuração na flexão.
- 6) Os valores encontrados de resistência mecânica e de coeficiente de permeabilidade para os traços C, D e E nos concreto sem fibras, e nos traços com fibra, já sugerem a possibilidade de utilização em pavimentos para áreas de estacionamento e circulação de veículos leves, bastando a definição de dimensionamento de uma espessura adequada, conforme sugere a ABNT [5]. Porém, para que no dimensionamento as espessuras possam diminuir e tornar mais atrativo do ponto de vista econômico (Batezini [14]), estudos da melhoria da resistência mecânica, mesmo que com uma perda da permeabilidade, deve ser considerado. Neste sentido sugere-se a continuidade da pesquisa, considerando o estudo das variações das propriedades mecânicas em função da variação da energia de compactação.
- 7) A adição de fibras em concretos drenantes, que já tem a característica da dificuldade de amassamento e homogeneização em função do alto índice de vazios, é um ponto que merece atenção para evitar empolamento das fibras, o que pode reduzir as resistências mecânicas.
- 8) Os baixos valores da consistência indicam que o ideal é usar compactação mecânica para que as propriedades mecânicas

sejam melhoradas (Bonicelli et al. [18]), sugerindo-se o uso de placa vibratória ou rolo compactador.

6. Referências

- [1] ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Projeto Técnico: Pavimento permeável. São Paulo, 2013.
- [2] MARCHIONI, M.; SILVA, C. O.; VAQUERO Y MAYOR, A.. Conceitos e requisitos para pavimentos de concreto permeável. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 2011
- [3] MERIGHI, João Virgílio; FORTES, Rita Moura; BANDEIRA, Alex. Estudo de propriedades do concreto poroso aplicado a pavimentação. In: IBRACON, 2006, Rio de Janeiro - RJ. Anais do 48° Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo - SP, 2006.
- [4] ACI 522R-06 – American Concrete Institute. Pervious Concrete. Michigan, 2006
- [5] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16.416: Pavimentos permeáveis de concreto- Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015
- [6] RODRIGUES, Públio Penna Firme; MONTARDO, Julio P. A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. In: IBRACON, 2002, Belo Horizonte - MG. Instituto Brasileiro do Concreto - 44° Congresso Brasileiro. Belo Horizonte – MG, 2002.
- [7] MCCAIN, George N.; DEWOOLKAR, Mandar M. Porous Concrete Pavements: Mechanical and Hydraulic Properties. School of Engineering the University of Vermont. Burlington, USA, 2010.
- [8] SHU, X.; HUANG, B.; WU, H.; DONG, Q.; BURDETTE, E.. Performance comparison of laboratory and field produced pervious concrete mixtures. *Construction and Building Materials*, v. 25, p.3187-3192, 2011.
- [9] LYAN, C.; ZHUGE, Y.. Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation. *Construction and Building Materials*, v. 24, p.2664-2671, 2010.
- [10] NCPTC - NATIONAL CONCRETE PAVEMENT TECHNOLOGY CENTER. Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates. Iowa Department of Transportation. Iowa Concrete Paving Association. 25. fev. 2006.
- [11] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement. EPA 832-F-99-023 Office of Water, Washington, D.C. 1999
- [12] TEIXEIRA, B. C. S.; FORTES, R. M. Estudo da Dosagem de Concreto Poroso Aplicado a Pavimentação (Study of Pervious Concrete Dosage For Use In Pavements). In: CONINFRA – Anais do Congresso De Infraestrutura De Transportes, São Paulo. 2009: 12 p.
- [13] IBRAHIM, A.; MAHMOUD, E; YAMIN, M; PATIBANDLA, V. C. Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. *Construction and Building Materials*, v. 50, p.524-529, 2014.
- [14] BATEZINI, R.. Estudo preliminar de concreto permeáveis como revestimento de pavimento para áreas de veículos leves. 2013. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [15] KAJIO, S.; TANAKA, S.; TOMITA, R.; NODA, E.; HASHIMOTO, S. Properties of Porous Concrete with High Strength. *Proceedings 8th International Symposium on Concrete Roads*, Lisboa, p. 171-177, 1988.
- [16] TENNIS, P. D.; LEMMING, M. L.; AKERS, D. J. Pervious Concrete Pavements, Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 2004
- [17] COSIC, K.; KORAT, L; DUCMAN, V.; NETINGER, I.. Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, v. 78, p.69-76, 2015.
- [18] BONICELLI, A.; GIUSTOZZI, F; CRISPINO, M.. Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete. *Construction and Building Materials*, v. 91, p.102-110, 2015.
- [19] MAGUESVARI, M Uma; NARASIMHA, V.L.. Studies on Characterization of Pervious Concrete for Pavement Applications. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, ed.104, p. 198-207, 2013.
- [20] SENISSE, Juliana; DAL MOLIN, D. C. C. A influência de microfibras de polipropileno e de aditivo superplastificante nas propriedades de concretos com níveis de resistência semelhantes. In: IBRACON, 2011, Florianópolis - SC. Anais do 53° Congresso Brasileiro do Concreto. Porto Alegre - RS, 2011.
- [21] PERRONE, Vitor Cury et al. Estudo do comportamento à flexão de compósitos cimentícios reforçados com fibras de polipropileno de alta tenacidade. In: IBRACON, 2011, Florianópolis – SC. Anais do 53° Congresso Brasileiro do Concreto. Porto Alegre - RS, 2011.
- [22] GESOGLU, M.; GÜNEYISI, E; KHOSHNAW, G.; IPEK, S.. Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers. *Construction and Building Materials*, v. 63, p.206-213, 2014.
- [23] HESAMI, Saeid.; AHMADI, Saeed; NEMATZADEH, Mahdi. Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, ed. 53, p. 680-691, 2014.
- [24] AMARAL JUNIOR, Josué Coelho. Avaliação da influência da adição de fibras poliméricas nas propriedades térmicas e mecânicas do concreto. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- [25] LUCENA, Júlio César Tavares. Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2017.
- [26] GUIMARÃES, Diego; SILVA FILHO, Luiz C. P. da; PACHECO, Alexandre R. Pisos industriais em concreto armado: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos. In: IBRACON, 2011, Florianópolis - SC. Anais do 53° Congresso Brasileiro do Concreto. Porto Alegre - RS, 2011.
- [27] REHDER, Benjamin.; BANH, Kingsten; NEITHALATH, Narayanan. Fracture behavior of pervious concretes: The effects of pore structure and fibers. *Engineering Fracture Mechanics*, ed. 118, p. 1-16, 2014.

- [28] POLASTRE, B.; SANTOS, L. D. Concreto Permeável. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-USP. São Paulo: 2º Semestre de 2006. Disponível em: <<http://www.usp.br>> Acesso em: 04 de maio de 2013.
- [29] SALES, T. L. Pavimento Permeável com Superfície em Blocos de Concreto de Alta Porosidade. 2008. 188 p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [30] REYES, Fredy; TORRES, Andrés. Efecto de las fibras plasticas en la flexion de estructuras de pavimentos drenantes. Ingeniería de Construcción, Chile, v. 17, n. 2, p.93-102, 2002.
- [31] NEITHALATH, Narayanan.; SUMANASOORIYA, Milani S; DEO, Omkar. Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction. Materials Characterization, ed. 61, p. 802-813, 2010.