

## **Estudo da influência das adições de fibra de vidro álcali-resistentes nas propriedades do concreto permeável**

### **Anderson Mauricio Carvalho Santana**

Discente de Mestrado no PPGEC, FEIS UNESP, Brasil  
anderson.santana@unesp.br

### **Guilherme Augusto Donegá Rocha**

Discente de Mestrado no PPGEC, FEIS UNESP, Brasil  
donega.rocha@unesp.br

### **Emerson Alexandre Bolandim**

Professor Doutor, FEIS UNESP, Brasil  
emerson.bolandim@unesp.br

### **Aparecido Carlos Gonçalves**

Professor Titular, FEIS UNESP, Brasil  
aparecido.carlos@unesp.br

### **Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque**

Professora Adjunta, FEIS UNESP, Brasil  
maria.albuquerque@unesp.br

## RESUMO

O processo de impermeabilização do solo acarreta consequências negativas para a gestão da drenagem urbana. Neste contexto, o concreto permeável, objeto deste estudo, surge como uma solução para mitigar impactos decorrentes da impermeabilização. No entanto, devido à sua alta porosidade, este tipo de concreto apresenta uma resistência inferior ao concreto convencional. O objetivo desta pesquisa foi investigar a influência do acréscimo de fibras de vidro álcali-resistentes (fibra de vidro AR) na resistência e permeabilidade do concreto permeável. Foram preparadas misturas de concreto permeável utilizando uma proporção de 1:4,6, com adição de 10% de sílica, 0,5% de aditivo superplastificante e 0,34% de água em relação ao peso do cimento. Para avaliar a influência das fibras, foram adicionadas duas diferentes porcentagens de fibra de vidro AR: 10% e 20% (em relação ao volume do concreto). A abordagem metodológica abrangeu ensaios de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão a três pontos, além da obtenção da massa específica, índice de vazios e coeficiente de permeabilidade. Os resultados revelaram que o acréscimo de fibra ocasionou uma diminuição na resistência à compressão axial. No entanto, a mistura com adição de 10% de fibra demonstrou um aumento na resistência à compressão diametral e à flexão, que são as solicitações mais críticas em pavimentação. A massa específica seca e o coeficiente de permeabilidade apresentaram redução com a inclusão das fibras, enquanto o índice de vazios aumentou. Conclui-se que o acréscimo de 10% de fibra mostrou-se benéfico, porém, o aumento subsequente não proporcionou ganho significativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto Permeável. Fibra de Vidro Álcali-Resistente. Propriedades Mecânicas.

## 1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da urbanização no Brasil teve sua origem sobretudo a partir da década de 1940, alcançando uma intensificação notável nas décadas subsequentes. A transição da agricultura tradicional para uma produção mais mecanizada, conjugada às políticas governamentais fomentadoras da modernização do setor rural, provocou o êxodo significativo de trabalhadores do campo em direção aos centros urbanos.

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2015, cerca de 84,72% da população brasileira reside em áreas urbanas, ao passo que apenas 15,28% permanecem em zonas rurais, conforme apontado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

O acelerado crescimento populacional e a expansão urbana desenfreada têm induzido à pavimentação extensiva de vias, calçadas e loteamentos, acarretando em significativas alterações na cobertura vegetal original. Tal processo acarreta diversos problemas e implicações ambientais, destacando-se o incremento da impermeabilização do solo, o que resulta em uma substancial redução na capacidade de absorção da água pelo solo, culminando em eventos como enchentes, formação de ilhas de calor, entre outras adversidades (Lopes et al., 2020).

É crucial encontrar métodos e práticas construtivas que minimizem as áreas impermeáveis. O uso do concreto permeável em pavimentos desempenha um papel fundamental nessa demanda, contribuindo consideravelmente para a diminuição das áreas impermeáveis. Isso ocorre porque esse tipo de pavimento apresenta uma grande capacidade de permeabilidade, devido à sua alta porosidade. Além disso, eles são compostos por uma grande quantidade de agregados graúdos e possuem pouca ou nenhuma quantidade de finos.

O pavimento de concreto permeável comumente é composto por um revestimento de concreto permeável na superfície, seguido por uma base e, por fim, por um subleito (solo). Pode-se incluir também uma manta geotêxtil permeável, embora não seja obrigatória (FERGUSON, 2005).

Xie et al. (2019) enumeram as principais vantagens de utilizar o concreto permeável em pavimentos: redução do escoamento de água pluvial na superfície; reabastecimento de águas subterrâneas; aumento da aderência a frenagem na superfície do concreto; melhoria da qualidade da água do lençol freático; redução da aquaplanagem; minimização do efeito de calor; minimização do ruído do tráfego.

Silva (2019) elenca as principais desvantagens associadas à utilização do concreto permeável em pavimentação, destacando:

Risco de obstrução dos poros;

Baixa resistência em comparação ao concreto convencional;

Limitações na durabilidade do concreto permeável.

A inferioridade em resistência do concreto permeável emerge como um fator restritivo para sua aplicação. Tanto a Norma Brasileira NBR 16416 (ABNT, 2015) quanto o *American Concrete Institute* (ACI) 522 (ACI, 2010) delineiam algumas aplicações recomendadas para o concreto permeável, tais como:

Calçadas;

Estacionamentos;

Pavimentos destinados ao tráfego de veículos leves;

Quadras de tênis;

Camadas de base para pavimentação;

Paredes para isolamento acústico;

Aterros de pontes;

Deques de piscinas.

Hesami et al. (2014) afirmam que a inclusão de fibras na composição do pavimento permeável eleva tanto a resistência à tração quanto à flexão. Tal incremento se deve à capacidade elástica conferida pelo material fibroso, reduzindo substancialmente o risco de ruptura abrupta do concreto permeável.

As fibras de vidro alcali-resistentes (fibra de vidro AR) consistem em fibras revestidas com materiais capazes de resistir à alcalinidade, como o óxido de zircônio, que auxilia na preservação das propriedades mecânicas das fibras durante sua vida útil no concreto (MANZIONE, 2019).

Diante dessas considerações, o presente estudo tem como objetivo primordial avaliar e comparar as propriedades mecânicas do concreto permeável, com e sem a adição de fibras, incluindo a resistência à compressão axial, à tração por compressão diametral e à tração na flexão a três pontos. Adicionalmente, foram analisados e comparados o índice de vazios, a massa específica seca e o coeficiente de permeabilidade das misturas, tanto da referência quanto das misturas com adição de 10% e 20% de fibras em relação ao volume de concreto cúbico, com ensaios realizados após 28 dias de cura das amostras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Os materiais utilizados nas misturas do concreto permeável em estudo foram: cimento Portland CP II-F-32, água, aditivo superplastificante (Tec-Flow 7000), sílica ativa (TECNOSIL), agregado graúdo com granulometria de 4,75/12,5mm (conhecida como brita 0) e fibras de vidro AR (FIBERGLASSYUNIUI).

Para o processo de confecção dos corpos de prova utilizou-se uma betoneira, moldes plásticos cilíndricos com dimensões de 10x20 cm e moldes de madeira prismáticos com dimensões de 10x10x40 cm. Foram produzidas 3 diferentes misturas. As misturas foram denominadas como: referência (sem adição de fibra de vidro AR) e com adição de 10% e 20% de fibra de vidro AR. Para cada mistura foram confeccionadas 16 amostras: 12 corpos de prova cilíndricos e 4 corpos de prova prismáticos.

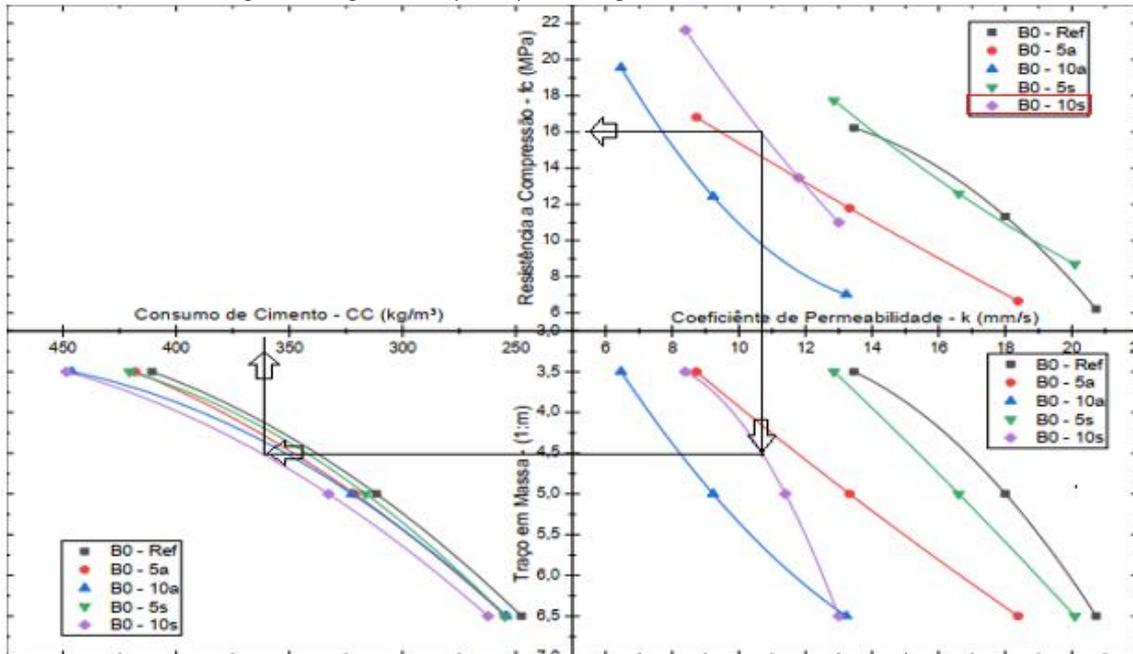
Os corpos de prova cilíndricos foram separados da seguinte maneira: 4 amostras para o ensaio de resistência à compressão axial, 4 amostras para o ensaio de compressão diametral e 4 amostras para o ensaio de massa específica. Adicionalmente, foram reservados 4 corpos de prova prismáticos para cada mistura, com o objetivo de realizar o ensaio de flexão a três pontos.

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Dosagem e produção do concreto permeável**

A definição da dosagem da mistura seguiu os procedimentos do diagrama adaptado de Bigotto (2021). O traço obtido pelo método foi de 1 parte de cimento para 4,6 partes de agregado graúdo, o consumo de cimento foi de 440,18 kg/m<sup>3</sup>. A relação água/cimento total foi de 0,34, sendo 0,28 para a reação com o cimento e o restante para absorção do agregado. Também houve o acréscimo de 0,5% de aditivo superplastificante em relação à massa do cimento e 10% de sílica, também em relação à massa do cimento. A Figura 1 apresenta o diagrama que Bigotto (2021) adaptado de Helene e Terzian (2001). Neste diagrama, obtido experimentalmente, o eixo da relação água cimento foi substituído pelo coeficiente de permeabilidade.

Figura 1- Diagrama Adaptado para Dosagem das Amostras de Concreto Permeável



Fonte: (BIGOTTO, 2021)

De acordo com o diagrama de dosagem de Bigotto (2021), é possível inserir um valor estimado de resistência à compressão axial para determinar o coeficiente de permeabilidade em mm/s, o traço em massa 1:m e, por fim, o consumo de cimento em kg/m<sup>3</sup>. Conforme pode ser observado pela reta traçada na Figura 1.

Para determinação da quantidade de água de absorção do agregado, foi realizado o ensaio de percentual de absorção dos agregados conforme a *American Society for Testing and Materials* ASTM C 127-15 (ASTM, 2016). Foi utilizado um fator água/cimento de 0,28 (para hidratação do cimento), além da inclusão de água de absorção para completar o processo de saturação da brita 0, sendo a relação água/cimento total de 0,34.

Posteriormente, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme descrito na norma brasileira NBR 16889 (ABNT, 2020). Além disso, foi feita uma análise tátil e visual, conforme relatado por Batezini (2013) e Silva (2019). Esses autores mencionam que não há um método normatizado que permita verificar a consistência do concreto permeável.

Para a realização do ensaio de massa específica, utilizou-se a norma americana ASTM C1754/C1754AM-12 (ASTM, 2021). Foram submetidos ao ensaio 15 corpos de prova cilíndricos aos 28 dias. Os corpos de prova nos quais foram realizados os ensaios de massa específica foram descartados de acordo com a norma, após terem passado pelo processo de secagem em alta temperatura.

Realizou-se o ensaio de índice de vazios conforme recomendado pela ASTM C1754/C1754AM-12 (ASTM, 2021).

Para determinação do coeficiente de permeabilidade, foram utilizadas 15 amostras cilíndricas e as especificações da *International Organization for Standardization* ISO 17785-1 (ISO, 2016). Trata-se de um ensaio de permeabilidade de carga constante.

O ensaio consiste em envolver as amostras com filme plástico e, em seguida, utilizar um soprador térmico para vedar a lateral da amostra, impedindo que a água esorra. Deve-se deixar uma pequena sobra de plástico de aproximadamente 5 cm entre a superfície superior e o término do plástico. Em seguida, devem ser feitas duas demarcações: uma a distância de 1,5 cm da superfície superior e outra a uma distância de 2,5 cm. Um litro de água é vertido na amostra para umedecê-la, posteriormente, são adicionados dois litros de água em um recipiente e despejados na amostra. A contagem do tempo inicia quando a água entra em contato com a superfície superior do concreto, mantendo-se a lâmina de água constante entre as marcações. A Figura 2 ilustra o ensaio.

Figura 2 – Amostra envolta por plástico filme



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Em seguida, utiliza-se a Equação 1 para calcular o coeficiente de permeabilidade.

$$K = \frac{W}{A.t} \quad (1)$$

Sendo:

K o coeficiente de permeabilidade (mm/s);

W o volume de água vertida na amostra permeável (mm<sup>3</sup>);

A área da seção transversal da amostra de concreto permeável (mm/s<sup>2</sup>);

t o tempo que a água levou para infiltrar na amostra permeável (s).

Também foram realizados, aos 28 dias, os ensaios de: resistência à compressão axial, seguindo a norma NBR 5739 (ABNT, 2018); resistência à tração por compressão diametral, conforme NBR 7222 (ABNT, 2011) e resistência à flexão, de acordo com a norma Americana ASTM C293/C293M-16 (ASTM, 2016).

A resistência à flexão, de acordo com a ASTM é determinada por meio do ensaio de uma viga com carga no centro, ou seja, por meio do ensaio de flexão a três pontos. O valor da resistência à flexão é calculado de acordo com a Equação 2:

$$R = \frac{PL}{2b.d^2} \quad (2)$$

Sendo:

R o módulo de ruptura (MPa);

P a carga máxima aplicada indicada pela máquina de ensaio (N);

L o comprimento do vão (mm);

b a largura média da amostra (mm);

d a profundidade da amostra (mm).

Devido à dificuldade de colar o extensômetro no concreto permeável, por causa de sua alta porosidade, o módulo de elasticidade estático foi obtido em função da resistência à compressão axial, conforme Equação 3, desenvolvida por Goede (2009).

$$E = 36,1 \times \rho_c 1,5 \times \sqrt{f_c} \quad (3)$$

Sendo:

E = Módulo de elasticidade (lbf/in<sup>2</sup>)

$\rho_c$  = Massa específica do concreto (lb/ft<sup>3</sup>)

$f_c$  = Resistência à compressão do concreto (lbf/in<sup>2</sup>)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Abatimento do tronco de cone e análise tátil e visual

O resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone foi de 1,8 cm, o que indica um abatimento bem próximo de nulo. Batezini (2013) e Bigotto (2021) destacam que esse resultado é devido à baixa relação água/cimento, o que contribui para a porosidade do concreto permeável. Por meio da análise tátil e visual, foi notado que a mistura apresentava uma consistência moldável à mão e um aspecto brilhante, conforme ilustrado na Figura 3. Este aspecto é o indicado por Tennis et al. (2004) e Silva (2019).

Figura 3 – Mistura com teor ideal



Fonte: Elaboração Própria (2024).

### 3.2 Massa específica seca

Todos os corpos de prova (de referência e com fibras) apresentaram massa específica aparente entre  $1600 \text{ kg/m}^3$  e  $2000 \text{ kg/m}^3$ , conforme recomendado pelos autores Pinheiro e Salomão (2020) e a NBR 16416 (ABNT, 2015). Batezini (2013) afirma que o concreto permeável possui massa específica de aproximadamente 80% do valor da massa específica do concreto comum que é de aproximadamente  $2400 \text{ kg/m}^3$ . A Tabela 1 apresenta os valores médios, desvio padrão e o coeficiente de variação da massa específica das misturas.

Tabela 1- Mistura - Massa específica

MISTURA	MASSA ESPECÍFICA ( $\text{kg/m}^3$ )	DESVIO PADRÃO (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	1963,04	27,82	1,42
10% de adição fibra (AR)	1926,71	36,36	1,89
20% de adição Fibra (AR)	1902,11	12,52	0,66

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Nota-se que o valor da massa específica seca da mistura com adição de 10% e 20% de fibra apresenta queda de 1,86% e 3,1%, respectivamente, em relação ao valor da mistura de referência. Portanto o aumento de fibra proporcionou queda da massa específica. Este resultado está de acordo com Toghroli et al. (2020). Os autores explicam que o decréscimo da massa específica ocorre devido ao acúmulo de ar entre a mistura de concreto permeável e a fibra.

### 3.3 Índice de vazios

A Tabela 2 ilustra os resultados de índice de vazios das amostras.

Tabela 2- Mistura – Índice de vazios

MISTURA	ÍNDICE DE VAZIOS (%)	DESVIO PADRÃO (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	28,82	1,42	2,02
10% de adição fibra (AR)	31,12	1,79	5,75
20% de adição Fibra (AR)	33,00	0,56	1,68

Fonte: Elaboração Própria (2024).

De acordo com a Tabela 2, nota-se que todas as misturas apresentaram índice de vazios acima de 15%, como recomendado pelos autores Elango et al. (2021), Fu et al. (2023) e Kia et al. (2017) para concreto permeável. Observa-se também um aumento, em relação as amostras de referência, de 7,94% e 14,5% para as amostras com 10 e 20% de fibra, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com os de Toghroli et al. (2020). Os autores concluem que o aumento do índice de vazios na mistura de concreto permeável ocorre devido ao aprisionamento de ar entre a mistura de concreto e a fibra.

### 3.4 Coeficiente de Permeabilidade

A Tabela 3 apresenta os resultados do coeficiente de permeabilidade, juntamente com o desvio padrão e o coeficiente de variação das misturas.

Tabela 3- Mistura x Coeficiente de Permeabilidade

MISTURA	PERMEABILIDADE (%)	DESVIO PADRÃO (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	27,74	6,35	22,89
10% de adição fibra (AR)	25,89	3,66	14,13
20% de adição Fibra AR)	23,92	2,54	10,63

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Todas as misturas apresentaram um coeficiente de permeabilidade superior ao valor de 1 mm/s, recomendado pela norma ABNT NBR 16416. O valor obtido na pesquisa variou de 23,92 a 27,74 mm/s.

De acordo com a Tabela 3, é possível observar que a adição de fibra de vidro nas misturas de concreto permeável diminuiu seu coeficiente de permeabilidade. Entretanto, é uma queda pequena (6,7%) para a composição de 10% de fibra, em relação à amostra de referência, sendo que o desvio padrão e o coeficiente de variação foi bem maior para amostra de referência. Philip et al. (2023) mencionam que a adição de fibras reduz o coeficiente de permeabilidade devido à distribuição das fibras nos poros do concreto, o que resulta em poros mais fechados e compactos, dificultando a passagem da água. Na Figura 4, obtida com o concreto do presente trabalho, fica perceptível que a fibra se depositou nos poros do concreto.

Figura 4 – Amostra de concreto permeável com fibra de vidro



Fonte: Elaboração Própria (2024).

### 3.5 Resistência à compressão axial

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial com seus respectivos desvios padrão e coeficiente de variância.

Tabela -4 Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

MISTURAS	ENSAIO	IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AXIAL MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	Compressão Axial	28	15,96	2,80	17,52
10% de adição fibra (AR)	Compressão Axial	28	14,55	1,90	13,04
20% de adição fibra (AR)	Compressão Axial	28	12,32	1,82	14,79

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Nota-se que a mistura de referência apresentou a maior resistência à compressão axial em relação às demais misturas. Isso indica que a adição de fibra não contribuiu para o aumento da resistência à compressão axial. Sharma e Mehta (2023) concluíram que essa redução pode ser atribuída ao aumento do índice de vazios nas amostras de concreto, conforme também aqui apresentado pela Tabela 2, enfraquecendo a estrutura do concreto.

### 3.6 Resistência à compressão diametral

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Resultado médio do ensaio de resistência por compressão diametral

MISTURAS	ENSAIO	IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA MÉDIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	Compressão Diametral	28	2,00	0,35	17,68
10% de adição fibra (AR)	Compressão Diametral	28	2,41	0,44	18,16
20% de adição fibra (AR)	Compressão Diametral	28	1,74	0,17	9,50

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Observa-se na Tabela 5 que a mistura com adição de 10% de fibra apresentou o maior valor de resistência à tração por compressão diametral. A mistura com 10% de fibra apresentou uma resistência à compressão diametral 17% e 28% maior em relação à mistura de referência e com adição de 20% de fibra, respectivamente. Este resultado mostra que a fibra aumenta a resistência à tração na compressão até um determinado teor, depois o acréscimo tende a diminuir essa resistência. Este resultado está de acordo com os resultados de Sharma e Mehta (2023), que indicam que existe um teor "ótimo" de fibra de vidro que proporciona o maior aumento na resistência à compressão diametral.

### 3.7 Resistência à flexão

Na Tabela 6, são apresentados os valores médios de resistência à flexão, juntamente com os desvios padrão e os coeficientes de variação para cada mistura.

Tabela 6- Resultado Médio do Ensaio de Resistência à Flexão a 3 Pontos

MISTURAS	ENSAIO	IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA MÉDIA À FLEXÃO (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Referência	Flexão a 3 Pontos	28	4,09	0,44	10,65
10% de adição fibra (AR)	Flexão a 3 Pontos	28	5,09	0,39	7,62
20% de adição fibra (AR)	Flexão a 3 Pontos	28	3,18	1,12	35,28

Fonte: Elaboração Própria (2024).

A mistura com adição de 10% de fibra em volume obteve o maior resultado de resistência à flexão. Foram observados valores 24% e 37,6% superiores em relação à mistura de referência e à mistura com adição de 20% de fibra, respectivamente.

Assim como ocorreu no ensaio de resistência à tração na compressão o acréscimo de fibra aumentou a resistência à flexão até um determinado teor, depois o acréscimo tende a diminuir essa resistência.

Hesami et al. (2014) mencionam que o aumento da resistência à tração diametral e à flexão ocorrem devido à elasticidade adquirida pelo material em função da presença das fibras, reduzindo significativamente a possibilidade de ruptura súbita do concreto permeável.

### 3.8 Módulo de elasticidade

Os resultados do módulo de elasticidade adquiridos pela Equação de Goede (2009) estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Módulo de Elasticidade Estático Utilizando a Equação de Goede (2009)

MISTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (kg/m <sup>3</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)
Referência	15,96	1963,04	13.570
10% de adição fibra (AR)	14,55	1926,72	12.610
20% de adição fibra (AR)	12,32	1920,12	11.540

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Goede (2009), trabalhou com concreto permeável e ao substituir os resultados de compressão axial em sua equação, para obter o módulo de elasticidade observaram que seus resultados variaram entre 12.100 MPa e 15.100 MPa. Observa-se o módulo de elasticidade, obtido pela equação no presente trabalho, ficaram bem próximos aos resultados de Goede, tanto para as misturas de referência como para as misturas com adição de 10% e 20% de fibra.

Silva (2019) também utilizou a Equação 3 em sua pesquisa e obteve o resultado de módulo de elasticidade de 15.105 Mpa, para concreto permeável sem fibra. Ou seja, os valores estão próximos ao da literatura.

Para quase todos os ensaios mecânicos e para o ensaio de coeficiente de permeabilidade, as amostras de referência apresentaram maiores valores de desvio padrão e coeficiente de variação.

#### 4 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos, observa-se que:

a) Todas as misturas das amostras de concreto permeável endurecido alcançaram valores de massa específica aparente seca entre 1900 e 1970 kg/m<sup>3</sup>, como recomendado por Batezini (2013). Também se observou que a massa específica das amostras de concreto permeável com adição de 10% e 20% de fibras diminuiu em relação à mistura de referência.

b) As misturas das amostras de concreto permeável ficaram com o índice de vazios acima de 15%. Nota-se que a adição de fibras nas misturas de concreto permeável aumenta o índice de vazios e diminui a resistência à compressão axial. O aumento do índice de vazios ocorre devido ao acúmulo de ar provocado pela presença das fibras.

c) Todas as misturas de concreto atingiram um coeficiente de permeabilidade acima do recomendado pela ABNT NBR 16416, que é de 1 mm/s. O acréscimo de fibra apresentou queda no coeficiente de permeabilidade e quanto maior o teor de fibra menor foi o coeficiente de permeabilidade. Segundo Philip et al. (2023), a redução do coeficiente de permeabilidade ocorre devido à distribuição das fibras nos poros do concreto permeável, tornando os poros mais fechados e compactos, o que diminui a percolação da água. Isto ficou visível na fotografia apresentada de uma amostra do presente trabalho.

d) Embora o acréscimo de fibra de vidro AR tenha mostrado queda na resistência à compressão, o mesmo não ocorreu para a resistência à tração na compressão e à flexão. Nestes ensaios o acréscimo de fibra também aumentou a resistência até um determinado teor, depois o acréscimo da fibra tende a diminuir esse valor de resistência. O aumento da resistência à tração e à flexão ocorre devido ao alongamento das fibras no concreto, reduzindo a ruptura súbita, ou seja, aumenta a ductilidade do concreto, até um certo teor de fibra.

e) No presente trabalho a mistura que apresentou os melhores resultados para aplicação em pavimento foi a que teve acréscimo de 10% de fibra, pois embora a resistência à compressão axial tenha sido menor, em relação à amostra de referência, essa geometria não é a mais solicitada em pavimento, sendo a flexão e tração as principais solicitações.

f) Em relação à queda do coeficiente de permeabilidade, que apresentou a amostra com 10% de fibra em relação à amostra de referência, se pode dizer que esta foi muito pequena, principalmente quando se compara o desvio padrão, ou seja, a amostra de referência teve amostra com valor menor que a amostra com 10% de fibra, entretanto a média foi maior.

#### 5 REFERÊNCIAS

ABREU, R, S, A.; MIRANDA, T, V. O uso do pavimento permeável como medida auxiliar na drenagem das cidades – bairro Cidade Brooklin, São Paulo. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 03, n. 4, abr 2020. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-permeavel. Acesso em: 15 out. 2023.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10**: Report on Pervious Concrete. Farmington Hills, march 2010. 40p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C127-15/C127-15**. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. 2016. 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C293/C293-16**. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). 2016. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1754/C1754M-12**. Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete (Withdrawn). 2021. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 5 p.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Universidade de São Paulo, 2013.

BIGOTTO, S, A, M. **Estudo de traços de concreto permeável com adição de areia e sílica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.

EISENBERG, B.; LINDOW, K, C.; SMITH, D, R. Permeable Pavements. **American Society of Civil Engineers**, Reston, Virginia, 2015, pp. 1-262.

ELANGO, K, S.; GOPI, R.; SARAVANAKUMAR, V.; RAJESHKUMAR, D.; VIVEK, S.; RAMAM, S, V. Properties of pervious concrete – A state of the art review. Tamil Nadu, India. **Materialstoday: Proceedings**, v. 45, Part 2, p. 2422-2425, 2021. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320384765>. Acesso em 11 jun 2023.

FERGUSON, B, K. Porous Pavements: **integrative studies in water management and land development**. London: Taylor & Francis. 2005, p. 600.

FU, Y.; WANG, P.; XU, P.; LING, Z.; WEI, D. Pore structure characteristic mechanical properties, and freeze–thaw resistance of vegetation-pervious concrete with unsintered sludge pellets. **Construction and Building Materials**, School of Civil Engineering, Qingdao PR China, v. 382, p. 1-16, 2023. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823010553>. Acesso em 10 jun. 2023.

GOEDE, W.G. Pervious concrete: **Investigation into structural performance and evaluation of the applicability of existing thickness design methods**. Thesis (Master of Science in Civil Engineering). Washington State University, Washington, 2009.

HELENE P.; TUTIKIAN, B. F. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. São Paulo, 2011. 38p.

HESAMI, S.; ALMADI, S.; NEMATZADEH, M. Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. **Construction and Building Materials**, Faculty of Civil Engineering, Babol Iran, v. 53, p 680-691, 2014. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813011033>. Acesso em: 11 jul. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17785-1**; Testing methods for pervious concrete – Part 1 Infiltration rate, 06 jun 2016, p.16.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html#:~:text=A%20PNAD%20foi%20implantada>. Acesso em 10 jun. 2022.

KIA, A.; WONG, H, S.; CHEESEMAN, C, R. Clogging in permeable concrete: A review. **Journal of Environmental Management**, Department of Civil and Environmental Engineering, London, v. 193,p. 221-223, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez87.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479717301226>. Acesso em: 07 jan. 2023.

LOPES, W. G. R.; LIMA JÚNIOR, J. M.; MATOS, K. C. Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana. **Research, Society and Development**, Universidade Federal do Piauí, v. 9, n.9, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsdv9i9.7102>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MANZIONE, J, A, P. **Caracterização de concreto com macrofibras de vidro para aplicações estruturais**. Dissertação (Mestre em Ciências) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019. Disponível. Acesso em 13jun. 2023.

PHILIP, P, M.; JOSEPH, A.; KOSHY, R, Z.; JOSSY, A. Mechanical and permeability of basalt fibre reinforced concrete. **Materials Today: Proceedings**, Department of Civil Engineering, Kerala India, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.133>. Acesso em: 26 ago. 2023.

SHARMA, S, K.; MEHTA, S. Experimental study on effect of glass fibre on concrete using recycled aggregate. **Materialstoday: Proceedings**, Civil Engineering Departament, Índia, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.241>. Acesso em: 06 jul. 2023.

SILVA, R, G. **Estudo de Concreto Permeável como Pavimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

TECNOSIL. Concreto Permeável: **O que é e quais seus grandes atrativos?** [São Paulo], 20 fev. 2017. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-permeavel-o-que-e-e-quais-seus-grandes-atrativos/>. Acesso em: 12 abr.2023.

TEIXEIRA, G. DA S., RODRIGUES, R. S. S., CRISPIM, D. L., FERNANDES, L. L., BITTENCOURT, G. M. Metodologias para Caracterização e Avaliação de Sistemas de Drenagem urbana: uma revisão. **Research, Society and Development**, Universidade Federal do Pará, v. 9, n.4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.3063> . Acesso em: 15 jun. 2022.

TENNIS, P. D.; LEMING, M.L.; AKERS, D, J. Pervious Concrete Pavements. **Researchgate**, Portland Cement Association, Maryland: Silver Spring, Maryland, USA, 2004. Acesso em: 26 jun. 2023.

TOGHROLI, A.; MEHRABI, P.; SHARIATI, M.; TRUNG, N, T.; JAHANDARI, S.; RASEKH, H. Evaluating the use of recycled concrete aggregate and pozzolanic additives in fiber-reinforced pervious concrete with industrial and recycled fibers. **Construction and Building Materials**, Institute of Research Viet Nam, v. 252, p. 1-22, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez87.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061820310023>. Acesso em 14 jul. 2023.

XIE, N.; AKIN, M.; SHI, X. Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. **Journal of Cleaner Production**, University of Jinan, Shandong, PR China, v. 210, p. 1605-1621, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335376>. Acesso em 30 dez 2023.