



Análise da influência da adição de fibras de polipropileno no concreto permeável

Guilherme Augusto Donegá Rocha

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

Anderson Mauricio Carvalho Santana

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

Alexsandro dos Santos Felipe

Professor Doutor, FEIS UNESP, Brasil.
alexsandro.felipe@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

Submissão: 08/08/2024

Aceite: 05/11/2024

ROCHA, Guilherme Augusto Donegá; SANTANA, Anderson Mauricio Carvalho; FELIPE, Alexsandro dos Santos; GONÇALVES, Aparecido Carlos; ALBUQUERQUE, Maria da Consolação Fonseca de. Análise da influência da adição de fibras de polipropileno no concreto permeável. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, [S. l.], v. 21, n. 1, 2025. DOI: [10.17271/1980082721120255596](https://doi.org/10.17271/1980082721120255596).

Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/5596

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Análise da influência da adição de fibras de polipropileno no concreto permeável

RESUMO

Objetivo - Este estudo tem como objetivo investigar a influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas e funcionais de concretos permeáveis contendo 10% de sílica ativa, visando avaliar seu potencial para aplicação em pavimentos urbanos sustentáveis. Para isso, avalia-se a influência da incorporação de diferentes teores de fibras (1, 2, 3 e 4 kg/m³) na permeabilidade, índice de vazios e resistências mecânicas (compressão axial, compressão diametral e tração na flexão). Além disso, busca-se compreender a variação do módulo de elasticidade e da capacidade de deformação pós-pico, comparando os resultados obtidos com a mistura de referência para verificar a viabilidade do uso dessas composições em infraestrutura urbana.

Metodologia - O estudo foi conduzido em laboratório e seguiu uma abordagem experimental para avaliar os efeitos da adição de fibras de polipropileno em concretos permeáveis contendo 10% de sílica ativa. Inicialmente, foram selecionados os materiais constituintes, incluindo cimento Portland, agregados, sílica ativa e fibras de polipropileno. As misturas foram preparadas com diferentes teores de fibras (1, 2, 3 e 4 kg/m³), além de uma mistura de referência sem fibras para comparação. Os corpos de prova foram moldados e submetidos a ensaios para determinar suas propriedades físicas e mecânicas. A massa específica, permeabilidade e índice de vazios foram avaliados para caracterizar a estrutura porosa do concreto. A resistência mecânica foi analisada por meio de ensaios de compressão axial, compressão diametral e tração na flexão. O módulo de elasticidade e a capacidade de deformação pós-pico também foram investigados para compreender o comportamento estrutural das amostras. Os resultados foram comparados entre as diferentes misturas, permitindo avaliar a influência da incorporação das fibras na resistência mecânica e na funcionalidade do concreto permeável. Os achados contribuem para o desenvolvimento de pavimentos urbanos mais sustentáveis e duráveis.

Originalidade/relevância - A crescente urbanização tem intensificado problemas como a impermeabilização do solo, aumento do escoamento pluvial e o efeito de ilha de calor urbano, demandando soluções sustentáveis para a drenagem urbana. No Brasil, a drenagem urbana prioriza a eficiência hidráulica, frequentemente em detrimento dos impactos ambientais. O concreto permeável surge como uma alternativa viável, pois contribui para a redução do escoamento superficial e melhora a qualidade da água. No entanto, sua alta porosidade compromete a resistência mecânica, limitando sua aplicação em áreas de tráfego veicular. Estudos recentes têm explorado modificações nos compósitos cimentícios para superar essa limitação, como o uso de sílica e fibras poliméricas. No entanto, há uma lacuna na literatura sobre o impacto da incorporação de fibras de polipropileno em concretos permeáveis contendo sílica ativa, especialmente em relação ao equilíbrio entre permeabilidade, resistência mecânica e comportamento pós-fissuração. Assim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento ao investigar diferentes dosagens de fibras de polipropileno (1, 2, 3 e 4 kg/m³) em concretos permeáveis com 10% de substituição de cimento por sílica ativa, avaliando sua influência no desempenho mecânico e funcional. Os resultados podem subsidiar o desenvolvimento de concretos mais resistentes e duráveis, ampliando sua aplicação prática em infraestrutura urbana sustentável.

Resultados - Os resultados obtidos demonstraram que a adição de fibras de polipropileno impactou significativamente as propriedades físicas e mecânicas do concreto permeável. A adição de fibras reduziu a massa específica e aumentou a permeabilidade e o índice de vazios, evidenciando maior conectividade entre os poros. Nos ensaios mecânicos, a resistência à compressão axial e compressão diametral não apresentaram variações significativas entre as diferentes dosagens de fibras. No entanto, a resistência à tração na flexão aumentou com a adição de 1 kg/m³ de fibras, sugerindo um efeito positivo na capacidade do concreto de resistir a esforços de flexão. Com maiores teores de fibras (2, 3 e 4 kg/m³), observou-se uma leve redução na resistência à flexão, possivelmente devido ao aumento da porosidade e à dificuldade de dispersão homogênea das fibras na matriz cimentícia.

Contribuições teóricas/metodológicas - Este estudo contribui para a literatura científica ao aprofundar a compreensão sobre o impacto da adição de fibras de polipropileno em concretos permeáveis modificados com sílica ativa. A análise detalhada das propriedades físicas e mecânicas do material, especialmente em relação à permeabilidade, resistência à flexão e módulo de elasticidade, preenche uma lacuna na pesquisa sobre a viabilidade estrutural desse tipo de concreto em aplicações de infraestrutura urbana. Do ponto de vista metodológico, a pesquisa se destaca pela abordagem experimental sistemática, avaliando diferentes teores de fibras (1, 2, 3 e 4 kg/m³) e comparando seu efeito na estrutura porosa e no comportamento mecânico do concreto permeável. O uso combinado de ensaios de resistência, módulo de elasticidade e capacidade de deformação pós-pico fornece uma visão mais abrangente sobre a interação entre fibras e matriz cimentícia, permitindo um entendimento mais preciso das condições ótimas para o reforço do material. Além disso, os resultados deste estudo oferecem uma base metodológica para futuras pesquisas que busquem otimizar concretos permeáveis com reforços poliméricos, auxiliando no desenvolvimento de materiais mais eficientes e sustentáveis para o setor da construção civil.

Contribuições sociais e ambientais - O uso de concreto permeável com fibras de polipropileno contribui para a sustentabilidade urbana, reduzindo o escoamento superficial, ajudando no controle de enchentes e melhorando a

recarga dos lençóis freáticos. Além disso, sua aplicação pode minimizar o efeito de ilha de calor urbano, promovendo maior conforto térmico. Socialmente, a adoção desse material favorece cidades mais resilientes, reduzindo a necessidade de infraestrutura de drenagem convencional e seus custos de manutenção. O estudo fomenta o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis na construção civil, alinhadas aos princípios da sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Permeável. Fibra de Polipropileno. Resistência Mecânica.

Analysis of the Influence of Polypropylene Fiber Addition on Permeable Concrete

ABSTRACT

Objective – This study aims to investigate the influence of polypropylene fiber addition on the mechanical and functional properties of permeable concretes containing 10% silica fume, assessing their potential for application in sustainable urban pavements. To this end, the effects of incorporating different fiber contents (1, 2, 3, and 4 kg/m³) on permeability, void content, and mechanical strengths (axial compression, splitting tensile strength, and flexural tensile strength) were evaluated. Furthermore, variations in the modulus of elasticity and post-peak deformation capacity were analyzed, comparing the results with a reference mixture to determine the feasibility of using these compositions in urban infrastructure.

Methodology – The study was conducted in a laboratory setting following an experimental approach to assess the effects of polypropylene fiber addition in permeable concretes containing 10% silica fume. Initially, the constituent materials were selected, including Portland cement, aggregates, silica fume, and polypropylene fibers. The mixtures were prepared with varying fiber contents (1, 2, 3, and 4 kg/m³), along with a reference mixture without fibers for comparison. Specimens were cast and subjected to tests to determine their physical and mechanical properties. Bulk density, permeability, and void content were evaluated to characterize the porous structure of the concrete. Mechanical strength was analyzed through axial compression, splitting tensile, and flexural tensile strength tests. The modulus of elasticity and post-peak deformation capacity were also investigated to understand the structural behavior of the samples. The results were compared among the different mixtures, allowing an assessment of the influence of fiber incorporation on the mechanical strength and functionality of permeable concrete. The findings contribute to the development of more sustainable and durable urban pavements.

Originality/Relevance – The rapid urbanization process has exacerbated issues such as soil impermeabilization, increased stormwater runoff, and the urban heat island effect, necessitating sustainable solutions for urban drainage. In Brazil, urban drainage prioritizes hydraulic efficiency, often at the expense of environmental impacts. Permeable concrete emerges as a viable alternative, as it reduces surface runoff and improves water quality. However, its high porosity compromises mechanical strength, limiting its application in traffic areas. Recent studies have explored modifications in cementitious composites to address this limitation, such as the use of silica fume and polymeric fibers. Nevertheless, there is a gap in the literature regarding the impact of polypropylene fiber incorporation in permeable concretes containing silica fume, particularly in relation to the balance between permeability, mechanical strength, and post-cracking behavior. This study contributes to advancing knowledge by investigating different dosages of polypropylene fibers (1, 2, 3, and 4 kg/m³) in permeable concretes with 10% cement replacement by silica fume, evaluating their influence on mechanical and functional performance. The results may support the development of stronger and more durable concretes, expanding their practical application in sustainable urban infrastructure.

Results – The results demonstrated that the addition of polypropylene fibers significantly influenced the physical and mechanical properties of permeable concrete. The incorporation of fibers reduced bulk density while increasing permeability and void content, indicating greater pore connectivity. In mechanical tests, axial compressive strength and splitting tensile strength did not exhibit significant variations among different fiber dosages. However, flexural tensile strength increased with the addition of 1 kg/m³ of fibers, suggesting a positive effect on the concrete's ability to withstand bending stresses. For higher fiber dosages (2, 3, and 4 kg/m³), a slight reduction in flexural strength was observed, possibly due to increased porosity and difficulties in achieving homogeneous fiber dispersion within the cementitious matrix.

Theoretical/Methodological Contributions – This study contributes to the scientific literature by deepening the understanding of the impact of polypropylene fiber addition in permeable concretes modified with silica fume. The detailed analysis of the material's physical and mechanical properties, particularly concerning permeability, flexural strength, and modulus of elasticity, fills a research gap regarding the structural viability of this type of concrete for urban infrastructure applications. From a methodological perspective, the research stands out for its systematic experimental approach, evaluating different fiber contents (1, 2, 3, and 4 kg/m³) and comparing their effects on the porous structure and mechanical behavior of permeable concrete. The combined use of strength tests, modulus of elasticity assessment, and post-peak deformation capacity analysis provides a more comprehensive understanding of fiber-matrix interactions, enabling a more precise determination of optimal reinforcement conditions. Additionally,

the results of this study offer a methodological foundation for future research aimed at optimizing permeable concretes with polymeric reinforcements, contributing to the development of more efficient and sustainable materials for the construction sector.

Social and Environmental Contributions – The use of permeable concrete with polypropylene fibers contributes to urban sustainability by reducing surface runoff, aiding in flood control, and enhancing groundwater recharge. Additionally, its application can mitigate the urban heat island effect, promoting improved thermal comfort. Socially, the adoption of this material supports the development of more resilient cities, reducing the need for conventional drainage infrastructure and its associated maintenance costs. This study fosters the advancement of sustainable construction technologies aligned with sustainability principles.

KEYWORDS: Permeable Concrete. Polypropylene Fiber. Mechanical Strength.

Análisis de la Influencia de la Adición de Fibras de Polipropileno en el Hormigón Permeable

RESUMEN

Objetivo – Este estudio tiene como objetivo investigar la influencia de la adición de fibras de polipropileno en las propiedades mecánicas y funcionales de los hormigones permeables que contienen un 10% de sílice activa, con el fin de evaluar su potencial para su aplicación en pavimentos urbanos sostenibles. Para ello, se analiza la influencia de la incorporación de diferentes contenidos de fibras (1, 2, 3 y 4 kg/m³) en la permeabilidad, el índice de vacíos y las resistencias mecánicas (compresión axial, compresión diametral y tracción en flexión). Además, se busca comprender la variación del módulo de elasticidad y la capacidad de deformación post-pico, comparando los resultados obtenidos con la mezcla de referencia para verificar la viabilidad del uso de estas composiciones en infraestructura urbana.

Metodología – El estudio se llevó a cabo en laboratorio y siguió un enfoque experimental para evaluar los efectos de la adición de fibras de polipropileno en hormigones permeables con un 10% de sílice activa. Inicialmente, se seleccionaron los materiales constituyentes, incluyendo cemento Portland, agregados, sílice activa y fibras de polipropileno. Las mezclas se prepararon con diferentes contenidos de fibras (1, 2, 3 y 4 kg/m³), además de una mezcla de referencia sin fibras para comparación. Se moldearon los especímenes y se sometieron a ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Se evaluaron la masa específica, la permeabilidad y el índice de vacíos para caracterizar la estructura porosa del hormigón. La resistencia mecánica se analizó mediante ensayos de compresión axial, compresión diametral y tracción en flexión. También se investigaron el módulo de elasticidad y la capacidad de deformación post-pico para comprender el comportamiento estructural de las muestras. Los resultados se compararon entre las diferentes mezclas, permitiendo evaluar la influencia de la incorporación de fibras en la resistencia mecánica y la funcionalidad del hormigón permeable. Los hallazgos contribuyen al desarrollo de pavimentos urbanos más sostenibles y duraderos.

Originalidad/Relevancia – La creciente urbanización ha intensificado problemas como la impermeabilización del suelo, el aumento de la escorrentía pluvial y el efecto de isla de calor urbano, lo que exige soluciones sostenibles para el drenaje urbano. En Brasil, el drenaje urbano prioriza la eficiencia hidráulica, con frecuencia en detrimento de los impactos ambientales. El hormigón permeable surge como una alternativa viable, ya que contribuye a la reducción de la escorrentía superficial y mejora la calidad del agua. Sin embargo, su alta porosidad compromete la resistencia mecánica, limitando su aplicación en áreas de tráfico vehicular. Estudios recientes han explorado modificaciones en los compuestos cementosos para superar esta limitación, como el uso de sílice y fibras poliméricas. No obstante, existe una laguna en la literatura sobre el impacto de la incorporación de fibras de polipropileno en hormigones permeables que contienen sílice activa, especialmente en lo que respecta al equilibrio entre permeabilidad, resistencia mecánica y comportamiento post-fisuración. Así, este estudio contribuye al avance del conocimiento al investigar diferentes dosificaciones de fibras de polipropileno (1, 2, 3 y 4 kg/m³) en hormigones permeables con un 10% de sustitución de cemento por sílice activa, evaluando su influencia en el desempeño mecánico y funcional. Los resultados pueden respaldar el desarrollo de hormigones más resistentes y duraderos, ampliando su aplicación práctica en infraestructura urbana sostenible.

Resultados – Los resultados obtenidos demostraron que la adición de fibras de polipropileno impactó significativamente las propiedades físicas y mecánicas del hormigón permeable. La adición de fibras redujo la masa específica y aumentó la permeabilidad y el índice de vacíos, evidenciando una mayor conectividad entre los poros. En los ensayos mecánicos, la resistencia a la compresión axial y a la compresión diametral no presentaron variaciones significativas entre las diferentes dosificaciones de fibras. Sin embargo, la resistencia a la tracción en flexión aumentó con la adición de 1 kg/m³ de fibras, lo que sugiere un efecto positivo en la capacidad del hormigón para resistir esfuerzos de flexión. Con mayores contenidos de fibras (2, 3 y 4 kg/m³), se observó una ligera reducción en la

resistencia a la flexión, posiblemente debido al aumento de la porosidad y a la dificultad de lograr una dispersión homogénea de las fibras en la matriz cementosa.

Contribuciones teóricas/metodológicas – Este estudio contribuye a la literatura científica al profundizar en la comprensión sobre el impacto de la adición de fibras de polipropileno en hormigones permeables modificados con sílice activa. El análisis detallado de las propiedades físicas y mecánicas del material, especialmente en relación con la permeabilidad, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad, llena un vacío en la investigación sobre la viabilidad estructural de este tipo de hormigón en aplicaciones de infraestructura urbana. Desde el punto de vista metodológico, la investigación se destaca por su enfoque experimental sistemático, evaluando diferentes contenidos de fibras (1, 2, 3 y 4 kg/m³) y comparando su efecto en la estructura porosa y el comportamiento mecánico del hormigón permeable. El uso combinado de ensayos de resistencia, módulo de elasticidad y capacidad de deformación post-pico proporciona una visión más amplia sobre la interacción entre las fibras y la matriz cementosa, permitiendo una comprensión más precisa de las condiciones óptimas para el refuerzo del material.

Además, los resultados de este estudio ofrecen una base metodológica para futuras investigaciones que busquen optimizar hormigones permeables con refuerzos poliméricos, contribuyendo al desarrollo de materiales más eficientes y sostenibles para el sector de la construcción.

Contribuciones sociales y ambientales – El uso de hormigón permeable con fibras de polipropileno contribuye a la sostenibilidad urbana, reduciendo la escorrentía superficial, ayudando en el control de inundaciones y mejorando la recarga de los acuíferos. Además, su aplicación puede minimizar el efecto de isla de calor urbano, promoviendo un mayor confort térmico. Socialmente, la adopción de este material favorece ciudades más resilientes, reduciendo la necesidad de infraestructura de drenaje convencional y sus costos de mantenimiento. Este estudio fomenta el desarrollo de tecnologías sostenibles en la construcción civil, alineadas con los principios de sostenibilidad.

PALABRAS CLAVE: Hormigón Permeable. Fibra de Polipropileno. Resistencia Mecánica.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido às grandes aglomerações urbanas, a impermeabilização das superfícies assume dimensões consideráveis, gerando diversos problemas ambientais. Portanto, é essencial buscar técnicas construtivas que contribuam para a redução das áreas impermeáveis. A utilização de pavimentos permeáveis desempenha um papel fundamental nessa questão, podendo mitigar significativamente os problemas relacionados à impermeabilização das superfícies. Segundo Silva *et al.* (2019), análises realizadas, conclui-se que os pavimentos permeáveis em concreto representam uma solução eficaz para mitigar os impactos ambientais e sociais decorrentes da impermeabilização das superfícies urbanas.

Apesar dos benefícios ambientais mencionados, o elevado teor de porosidade do concreto permeável, que facilita a infiltração de água, resulta em uma significativa redução de sua resistência mecânica (Sun, Lin, Vollpracht, 2018).

Isso dificulta a implementação do concreto permeável, especialmente em áreas com tráfego leve a médio de veículos. Normalmente, suas aplicações restringem-se ao uso em calçadas, estacionamentos, quadras de recreação e sub-bases para pavimentos convencionais. Os pavimentos de concreto permeável podem ser concebidos empregando virtualmente qualquer procedimento padrão para pavimentação de concreto. A Associação Americana de Pavimentação de Concreto desenvolveu recentemente um programa abrangente denominado PerviousPave, que pode ser empregado para a elaboração de projetos estruturais e hidrológicos para pavimentos permeáveis (Bigotto, 2021).

Geralmente, a resistência à compressão axial e à tração na flexão do concreto permeável, aos 28 dias, varia de 3,4 a 27,5 MPa e de 1,0 a 3,4 MPa, respectivamente (Bilal et al., 2021). Um relatório publicado pelo American Concrete Institute (ACI, 2010) indicou que a resistência à compressão axial do concreto permeável geralmente varia de 2,8 a 28 MPa, enquanto a resistência à compressão axial do concreto convencional varia de 17 a 40 MPa. Essa disparidade dificulta a adoção do concreto permeável, especialmente para áreas com tráfego de veículos.

As propriedades mecânicas do concreto permeável podem ser melhoradas utilizando materiais adequados e proporções adequadas na mistura (Sumanasooriya, Neithalath, 2011). Yang e Jiang (2003) demonstraram que o uso de sílica ativa e superplastificante pode aumentar substancialmente a resistência do concreto permeável.

Elango *et al.* (2021), analisaram as propriedades do concreto poroso realizado com cimento Portland, chegando ao resultado de que a resistência do concreto permeável com taxas de vazio de 15%, 20% e 25% está entre 38 e 44 MPa, 29 e 35 MPa, e 15 e 22 MPa, respectivamente. Adamu *et al.*, (2021) estudaram o desempenho de durabilidade do concreto permeável contendo cinza de casca de arroz e resíduos de carboneto de cálcio (CCW) na substituição do cimento Portland em percentuais de 5%, 10%, 15% e 20%. O trabalho mostrou que tanto a adição da cinza de casca de arroz quanto o resíduo de carboneto de cálcio tiveram efeito negativo na durabilidade do concreto permeável.

Ibrahim *et al.*, (2014) estimam que, para que um concreto permeável apresente um bom desempenho na drenagem de água, seu índice de vazios deve situar-se entre 15% e 35%. Os autores explicam que essa faixa de vazios no volume do concreto permite que os poros

permaneçam interconectados, facilitando assim a passagem da água.

Kistan *et al.*, (2023) analisaram a inclusão de 0,4% de fibras de polipropileno no concreto, juntamente com a substituição de 30% do teor de cimento por cinza volante. Este estudo apresentou um aumento tanto na resistência à compressão quanto na resistência à tração na flexão desde os estágios iniciais, comparado ao concreto sem fibra.

Na literatura, diversos autores têm estudado o concreto permeável, focando principalmente na resistência à tração na flexão, uma característica crucial para pavimentos. Como exemplo, Batezine (2013) investigou a resistência à tração na flexão de amostras de concreto permeável sem adições, variando as proporções dos componentes como cimento, agregados e água.

Fei *et al.*, (2024), analisaram o concreto permeável de alto desempenho utilizando éster vinílico modificado de baixo custo como ligante, realizando ensaios de tração na flexão. Brasileiro *et al.*, (2024), investigaram a influência de agregados reciclados e sílica ativa no desempenho do concreto permeável. Verificou-se uma diminuição na resistência à tração na flexão para amostras contendo 40%, 50% e 60% de agregados reciclados em relação às amostras com agregado natural, com reduções de 5%, 27% e 13%, respectivamente, aos 28 dias.

Nesse contexto, é fundamental promover o avanço da tecnologia dos pavimentos de concreto permeável para mitigar os problemas associados às áreas urbanas impermeáveis, ao mesmo tempo em que se garante uma adequada resistência mecânica. Portanto, esta pesquisa propõe-se a analisar o concreto permeável com adição de fibras de polipropileno, visando avaliar novos materiais que contribuam para a utilização de pavimentos permeáveis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland Composto com Fíler (CP II-F-32) da marca Itaú, conforme especificado em suas fichas técnicas para aplicação em diversos tipos de obras, e fabricado em conformidade com a NBR 16697 (ABNT, 2018). A massa específica média do cimento foi de 3,02 g/cm³, conforme informado pelo fornecedor.

Como agregado graúdo, foi utilizada a brita de basalto proveniente de uma pedreira localizada no município de Itapura – SP, com granulometria variando entre 1 e 12 mm. O agregado atendeu às especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009) em relação aos limites de granulometria. As características de dimensão máxima, absorção e massa específica foram determinadas de acordo com a mesma norma, e estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades Físicas dos Agregados.

Material	μ (g/cm ³)	Absorção (%)	Dimensão Máxima (mm)
Agregado Graúdo	2,82 ± 0,03	2,55 ± 0,05	12,50
	[NBR NM 53 (ABNT, 2009)]	[NBR NM 53 (ABNT, 2009)]	

Fonte: Autor (2023).

Para compensar o baixo fator água/cimento utilizado na dosagem, foi empregado o aditivo superplastificante Tec-Flow 7000. O aditivo está em conformidade com a NBR 11768 (ABNT, 2019), com massa específica de $1,09 \text{ g/cm}^3$, de acordo com o informado pelo fabricante. Possui aspecto viscoso e varia de cor de amarelo a âmbar. A dosagem foi realizada na proporção de 0,5% em relação ao peso do cimento, conforme recomendado pelo fabricante, que indica uma faixa de 0,5 a 1,5%.

A água utilizada foi proveniente da rede de distribuição do município de Ilha Solteira – SP, captada via poços profundos do lençol freático da bacia hidrográfica do São José dos Dourados.

Foi adicionada sílica ativa Tecnosil nos traços que envolvem agregado graúdo, na proporção de 10% em relação ao peso do cimento. O fabricante garante que a sílica atende à NBR 13956 (ABNT, 2012). As características físicas da sílica utilizada estão detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características da Sílica Ativa.

Massa Específica (g/cm^3)	Teor de SiO_2	Superfície Específica (m^2/kg)	Formato da Partícula	Diâmetro Médio (mm)
2,22	$\geq 90\%$	19.000	Esférico	0,0002

Fonte: Tecnosil (2020).

Foi utilizada a macrofibra estrutural Duristeel FF54, em conformidade com a Norma ASTM C-116, para reforçar o concreto permeável. As características desta macrofibra estão detalhadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características físicas Macro fibra Duristeel FF54

Material	Módulo de Elasticidade	Peso Específico	Comprimento	Resistência a Tração	Absorção de água
Polipropileno	9,0 GPa	0,97 g/cm^3	54 mm	850 MPa	Zero

Fonte: Concrefibra (2021).

O fabricante recomenda uma dosagem mínima de 1 kg/m^3 e máxima de 6 kg/m^3 para melhorar a resistência à tração do concreto. Com base nessas diretrizes e considerando o volume total de $0,0157 \text{ m}^3$ para a realização das amostras, foram adicionados os seguintes teores de macrofibra para uma análise abrangente: 1 kg/m^3 , 2 kg/m^3 , 3 kg/m^3 e 4 kg/m^3 .

2.2 Caracterização física e mecânica do concreto permeável

Foi determinada a densidade de massa aparente e a porcentagem média de vazios conforme procedimento descrito pela ASTM C1688/C1688M (2014). O índice de vazios foi calculado como a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.

Embora o índice de vazios esteja diretamente relacionado à permeabilidade do concreto, não há um limite normativo específico para essa característica. Estudos, como o de Tennis et al. (2004), recomendam uma faixa de índice de vazios entre 15% e 25%. Neste estudo, adotou-se a faixa recomendada por Tennis, pois índices abaixo de 15% podem comprometer a permeabilidade do concreto, enquanto índices acima de 25% podem prejudicar sua resistência estrutural.

O coeficiente de permeabilidade representa a velocidade com que uma determinada quantidade de água percola um elemento ou estrutura permeável e é o fator mais importante na avaliação do concreto poroso, que geralmente é dimensionado para atender à demanda do ambiente onde o pavimento será instalado.

O coeficiente de permeabilidade deste trabalho, foi aferido conforme a ISO 17875-1 (ISO, 2016), que, de forma simplificada, emprega o método de carga constante para o cálculo, de acordo com a Equação 1.

$$K = \frac{m}{a.t} \quad (1)$$

Onde:

K = coeficiente de permeabilidade (mm/s)

m = massa da água (em mm³)

a = área do cilindro do corpo de prova (em mm²)

t = tempo que o volume de água levou para percorrer o corpo de prova (em segundos)

Ao longo do tempo, a permeabilidade do concreto pode ser reduzida devido ao acúmulo de partículas sólidas transportadas pela água e pelo ar. Esse acúmulo tende a obstruir os poros do concreto, diminuindo gradualmente sua capacidade de permitir a passagem da água. Para assegurar que o pavimento se mantenha dentro dos padrões de desempenho ao longo de sua vida útil, procurou-se projetá-lo com um coeficiente de permeabilidade superior ao mínimo exigido pela norma NBR 16416, que é de 1 mm/s.

Também foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone em todos os traços, conforme a norma NBR 16889 (ABNT, 2020) e seguindo o procedimento da NBR 16886 (ABNT, 2020). Nenhum dos traços apresentou abatimento superior a dois centímetros, o que está em conformidade com as diretrizes descritas por Silva (2019).

2.3 Ensaios mecânicos

Os seguintes ensaios foram realizados no laboratório, conforme as normas técnicas pertinentes, em uma Prensa universal marca Emic, com capacidade para 200 toneladas, garantindo a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios:

- Resistência à compressão axial (NBR 5739, ABNT, 2018) em corpos de prova cilíndricos.

- Tração por compressão diametral (NBR 7222, ABNT, 2011) em corpos de prova cilíndricos.
- Tração na flexão (NBR 12142, ABNT, 2010) em corpos de prova prismáticos.
- Também foi realizado ensaio de tração na flexão (ASTM E855-90) em corpos de prova prismáticos para obtenção do módulo de elasticidade, conforme apresenta a Equação 2.

$$E = \frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{4bh^3v} \quad (2)$$

Onde:

E = Módulo de Elasticidade (GPa)

P = Carga a 70% da ruptura (KN)

L = Vão dos apoios até aplicação da carga (mm)

a = Base da seção transversal (mm)

h = Altura da seção transversal (mm)

v = deflexão no meio do vão (mm)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Massa específica, índice de vazios e permeabilidade

A Tabela 4 apresenta os valores médios de densidade e índice de vazios e seus respectivos desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) obtidos para os corpos de prova de referência e para aqueles com adição de fibras.

Tabela 4 - Valores médios de Densidade e Índice de Vazios

Traço	Densidade (Kg/m³)	CV (%)	DP (Kg/m³)	Índice de Vazios (%)	CV (%)	DP (Kg/m³)
Referência	1963,04	1,42	27,82	28,82	2,02	1,42
1Kg/m³	1904,06	1,61	30,78	29,86	1,61	2,46
2Kg/m³	1901,20	1,55	29,57	30,63	1,55	1,93
3Kg/m³	1897,4	1,49	30,12	31,9	1,93	1,7
4Kg/m³	1892,63	1,53	28,91	32,62	1,71	2,12

Fonte: Autor (2023).

Os resultados mostraram que a massa específica aparente seca das amostras de concreto permeável endurecido variou entre 1900 e 1970 kg/m³. Este intervalo está alinhado com os valores obtidos por Batezini (2013) para concretos permeáveis, que variam de 1700 a 2000 kg/m³.

Ambas as misturas, tanto a de referência quanto aquelas com adição de fibras, apresentaram densidades superiores a 1600 kg/m³, atendendo ao mínimo exigido pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015). Este requisito é fundamental para garantir que o concreto permeável tenha a densidade necessária para suas aplicações estruturais.

Na Tabela 4, também é possível observar que os coeficientes de variação dos resultados não ultrapassaram 2%, tanto para densidade quanto para o índice de vazios. Esse baixo coeficiente de variação sugere que o método empregado na elaboração dos traços foi eficiente, resultando em uma variabilidade mínima e confirmando a consistência e a uniformidade das

misturas. A consistência nos valores de densidade reflete uma boa homogeneidade na mistura e na incorporação das fibras.

Ainda, ao observar a Tabela 4, pode-se perceber que os índices de vazios das misturas analisadas foram superiores a 15%, alinhando-se com as recomendações da literatura para concretos permeáveis, como sugerido por Tennis *et al.*, (2004). De acordo com o American Concrete Institute (ACI, 2010), o índice de vazios do concreto permeável deve variar entre 15% e 25% para garantir sua funcionalidade de drenagem. O índice de vazios do concreto permeável é crítico para avaliar sua eficácia em permitir o fluxo de água através de sua matriz, mantendo a funcionalidade esperada em aplicações de pavimentos permeáveis.

No presente estudo, o traço de referência apresentou um índice de vazios acima do máximo sugerido pelo ACI, 2010, com um valor de 28,8%. Com a adição de 1 kg/m³ de fibra, o índice de vazios aumentou para 29,86%. Aumentando a adição para 2 kg/m³, o índice de vazios subiu para uma média de 30,63%. Nas misturas com adição de 3 kg/m³ e 4 kg/m³, os resultados aumentaram para 31,9% e 32,62%, respectivamente.

Conforme esperado, a adição de fibra de polipropileno nas misturas de concreto permeável resultou em um aumento no índice de vazios das amostras. Este fenômeno pode ser explicado pela formação de espaços adicionais entre os agregados e as fibras de polipropileno, que não são preenchidos pelo cimento hidratado. Toghrol *et al.*, (2020) discutem que o aumento do índice de vazios em concretos permeáveis decorre do acúmulo de ar na matriz do concreto, especialmente nas interfaces entre a mistura cimentícia e as fibras de polipropileno.

Este aumento no índice de vazios é consistente com a literatura e reflete a influência das fibras na estrutura porosa do concreto permeável. A presença de fibras proporciona canais adicionais para a retenção de ar, contribuindo para a elevação do índice de vazios e potencialmente influenciando a permeabilidade e outras propriedades físicas do concreto.

A Tabela 5 apresenta os valores médios dos coeficientes de permeabilidade (K) e seus respectivos desvios padrão e coeficiente de variância. Para cada corpo de prova, o ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade foi realizado duas vezes, e a média dos tempos foi calculada para cada amostra.

Tabela 5 - valores médios dos coeficientes de permeabilidade

Mistura	K	(DV) (%)	(CV) %
Referência	9,84	6,35	22,83
1Kg/m ³	11,06	4,3	18,6
2Kg/m ³	11,56	2,67	13,33
3Kg/m ³	12,03	4,65	14,68
4Kg/m ³	12,65	3,18	13,94

Fonte: Autor (2023).

A mistura de referência proposta apresentou excelentes capacidades drenantes, com um coeficiente de permeabilidade de 9,83 mm/s. Segundo Elango *et al.*, (2020), o concreto permeável ideal deve possuir um coeficiente de permeabilidade na faixa média de 2 a 8 mm/s.

3.2 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados aos 28 dias, incluindo ensaios de resistência à compressão axial, compressão diametral e tração na flexão (flexão em quatro pontos), nas misturas de concreto permeável com e sem fibra de polipropileno. Os resultados médios, juntamente com o desvio padrão e o coeficiente de variação estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios de resistência à compressão axial, compressão diametral, tração na flexão e módulo de elasticidade

	REFERENCIA	1Kg	2Kg	3Kg	4Kg
Compressão axial (MPa)	15,96	14,32	12,04	9,85	10,08
CV (%)	7,82	1,39	1,96	0,28	0,012
DP (MPa)	3,84	1,34	1,21	0,46	0,1
Compressão Diametral (MPa)	2	1,66	1,5	1,34	1,4
CV (%)	0,125	0,018	0,013	0,004	0,0013
DP (MPa)	0,61	0,11	0,1	0,058	0,032
Tração na Flexão (MPa)	1,38	1,5	1,34	1,26	1,17
CV (%)	0,4	0,4	0,52	0,12	0,03
DP (%)	0,48	0,14	0,1	0,3	0,17

Fonte: Autor (2024).

Conforme observado na Tabela 6, a mistura de referência apresentou a maior resistência à compressão axial em comparação com as amostras que continham adição de fibra de polipropileno. Isso sugere que a inclusão de fibra não contribuiu para um aumento na resistência à compressão axial da mistura.

Santana (2024) investigou a incorporação de fibras de vidro (AR) em concreto permeável utilizando a mesma mistura de referência. Um comparativo entre os resultados da adição de fibra de vidro (AR) e de polipropileno (PP) está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Comparação de resistência à compressão axial com valores da literatura

REFERÊNCIA	10% AR (MPa)	20% AR (MPa)	1Kg/m ³ PP (MPa)	2Kg/m ³ PP (MPa)	3Kg/m ³ PP (MPa)	4Kg/m ³ PP (MPa)
15,96	14,83	11,6	14,55	12,32	9,85	10,08

Fonte: Autor (2023).

Ao examinar a Tabela 7, observa-se que tanto as fibras de polipropileno quanto as de vidro (AR) resultaram em uma redução na resistência à compressão axial em comparação com o concreto sem fibras.

Em relação à resistência à tração por compressão diametral (Tabela 6), a adição de fibra de polipropileno também apresentou queda nos valores em relação à mistura de referência, com essa queda aumentando conforme aumentava a quantidade de fibra adicionada.

A mistura contendo 1 kg/m³ de fibra apresentou uma redução de 17% na resistência à tração por compressão diametral em comparação com a mistura de referência, enquanto a

mistura com 2 kg/m³ reduziu em 25%. As misturas com 3 kg/m³ e 4 kg/m³ de fibra de polipropileno mostraram reduções de 33% e 31,5%, respectivamente.

Santana (2024) também investigou a mesma mistura de referência do concreto permeável com acréscimo de fibras de vidro (AR) para avaliar a resistência à tração por compressão diametral. A Tabela 8 apresenta uma comparação entre os efeitos da adição de fibra de polipropileno e fibra de vidro, onde foram utilizadas adições de 10% e 20% de fibra de vidro em relação à massa da mistura.

Tabela 8 - Comparação de resistência à compressão diametral com valores da literatura

REFERÊNCIA	10% AR (MPa)	20% AR (MPa)	1Kg/m ³ PP (MPa)	2Kg/m ³ PP (MPa)	3Kg/m ³ PP (MPa)	4Kg/m ³ PP (MPa)
2	2,41	1,74	1,65	1,5	1,33	1,39

Fonte: Autor (2023).

Observa-se uma discrepância nos valores de resistência à tração por compressão diametral, onde a mistura com adição de 10% de fibra de vidro (AR) alcançou 2,41 MPa, apresentando maior resistência em relação à mistura de referência. Por outro lado, a adição de fibra de polipropileno resultou em redução na resistência. A maior resistência obtida com a fibra de vidro (AR) foi superior em 31,5% em comparação ao maior valor alcançado com a adição de fibra de polipropileno.

No ensaio de tração na flexão (Tabela 6), o acréscimo de 1 kg/m³ de fibra mostrou-se benéfico. O valor médio de resistência na mistura de referência foi de 1,38 MPa, com desvio padrão de 0,48. Os valores médios obtidos nas misturas com adição de 1 kg/m³, 2 kg/m³, 3 kg/m³ e 4 kg/m³ de fibra foram, respectivamente, 1,5 MPa, 1,34 MPa, 1,26 MPa e 1,17 MPa.

A adição de 1 kg/m³ resultou em um aumento de 8,7% na resistência à flexão, enquanto a adição de 2 kg/m³ mostrou uma redução de 2,9%. A maior redução na resistência foi observada com a adição de 4 kg/m³ de fibra, resultando em uma queda de 15,2%, e com a adição de 3 kg/m³ a redução foi de 8,9%.

A Tabela 9 apresenta a comparação dos resultados deste estudo com alguns dados encontrados na literatura para concreto permeável.

Tabela 9 - Comparação dos resultados de resistência à tração na flexão com a literatura.

Resistência à Tração na Flexão Presente Trabalho (Mpa)	Resistência à Tração na Flexão Batezine (2013) (Mpa)	Resistência à Tração na Flexão Brasileiro (2024) (Mpa)	Resistência à Tração na Flexão Lin e Yu (2022) (Mpa)	Resistência à Tração na Flexão Santana (2024) (Mpa)	Resistência à Tração na Flexão Fei (2024) (Mpa)
1,38	2,16	2,46	2,61	2,41	8,86
1,5	2,03	2,33	11,11	1,74	
1,34	2,22	1,78	4,36		
1,26	1,38	2,12			
1,17	1,5				
	1,34				
	1,26				
	1,17				

Fonte: Autor (2023).

Na literatura os resultados estão, no geral, maiores que o do presente trabalho, entretanto os resultados da literatura apresentam índices de vazios menores do que no presente trabalho. Brasileiro et al, 2024 trabalhou com índices de vazios na faixa de 12 a 16%; Fei et al, 11%, Batezine de 24 a 25%. Sendo que a resistência diminui com o aumento do índice de vazios, entretanto a permeabilidade cai com o aumento do mesmo. Santana et al., 2024, foi que trabalhou com índices de vazios mais próximos e também encontraram valores mais altos. Apesar disso, recorda-se que tais valores foram obtidos para o ensaio de flexão a três pontos, o que resulta em maiores valores de resistência.

A Tabela 10 traz os resultados de módulo de elasticidade, valor da flecha e a diferença em porcentagem entre os valores do concreto de referência e com acréscimo de fibra.

Tabela 10 - Flecha, módulo de elasticidade e a diferença entre os valores de referência e com acréscimo de fibra

Misturas	Flecha Máx. (mm)	Diferença Flecha (%)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Diferença E (%)
Referência	1,54	-	124	-
1Kg/m ³	1,12	- 27,27	200	+ 61
2Kg/m ³	1,14	- 25,97	175	+ 45
3Kg/m ³	1,4	- 9,1	130	+ 6
4Kg/m ³	1,53	- 0,65	123	0

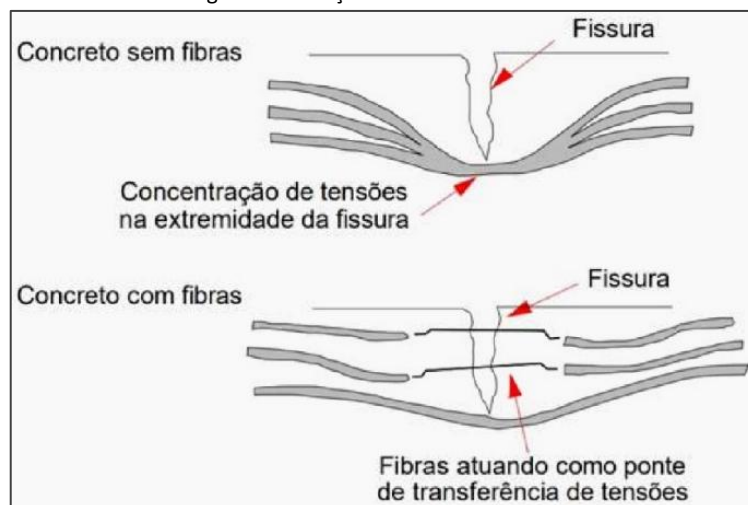
Fonte: Autor (2023).

Pela Tabela 10, é possível observar que a flecha máxima ocorreu na amostra sem fibra, enquanto a amostra com 1 kg/m³ de fibra foi a que apresentou a menor flecha, com um valor muito próximo da amostra com 2 kg/m³. As amostras com 3 kg/m³ e 4 kg/m³ apresentaram maior flecha. As composições com 1 e 2 kg/m³ de fibra mostraram as maiores diferenças tanto na flecha quanto no módulo de elasticidade em relação ao concreto sem fibra. Isso está de acordo com a Equação 2, onde o módulo de elasticidade é diretamente proporcional à carga e inversamente proporcional à flecha.

Essa relação ocorre porque as fibras restringem a abertura da trinca, dificultando sua propagação, conforme ilustrado na Figura 1 (Silva *et al.*, 2019), o que reduz o valor da flecha no centro do corpo de prova. No entanto, após uma certa quantidade de fibra, a resistência começa a diminuir o suficiente para que a fibra não consiga mais conter a propagação da trinca e, consequentemente, a deformação da flecha.

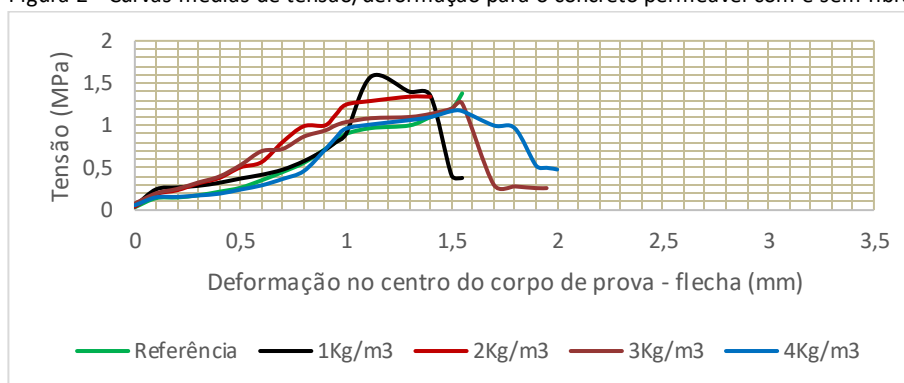
A Figura 2 apresenta as curvas médias de tensão/deformação para o concreto permeável com e sem fibra. É possível observar a ruptura repentina do concreto sem fibra, visto que o mesmo não apresenta queda de tensão pós pico, como ocorre nos concretos com adição de fibra. A mistura de referência apresentou uma deformação média de 1,54 mm na ruptura, enquanto que a mistura com adição de 1 kg/m³ de fibra de polipropileno registrou uma deformação média na ruptura, pelo LVDT, de 1,12 mm, o que representa uma redução de 27,27%.

Figura 1 - Atuação de fibras no concreto



Fonte: Silva *et al.*, 2019.

Figura 2 - Curvas médias de tensão/deformação para o concreto permeável com e sem fibra



Fonte: Autor (2023).

4. CONCLUSÃO

A pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas do concreto permeável, incluindo resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Também foram avaliados a permeabilidade, o índice de vazios e a massa específica.

Os resultados obtidos permitiram inferir as seguintes conclusões: O acréscimo de fibra de polipropileno apresentou queda na resistência à compressão axial e diametral. Essa queda aumentou com o aumento de fibras. A queda na resistência à compressão axial e diametral pode estar diretamente relacionada ao aumento do índice de vazios do concreto permeável com a adição da fibra de polipropileno.

A resistência à tração na flexão foi variou com adição de fibra de polipropileno. A mistura com 1 kg/m³ de fibra apresentou aumento de resistência em relação a mistura de referência. A mistura com acréscimo de 2 kg/m³ de concreto obteve valor muito próximo ao concreto sem fibra. Já as misturas com 3 e 4 kg/m³ de fibra apresentaram queda de resistência à flexão.

Portanto, há uma quantidade “ideal” de fibra, para a mesma atuar como fonte de transferência de tensão, a partir dessa quantidade a matriz começa a perder resistência e a transferência de tensão não é o suficiente mais para apresentar valores maiores que o concreto permeável sem fibra.

O Módulo de Elasticidade à Flexão apresentou aumento com a inclusão de fibra de polipropileno, em relação ao concreto de referência, para as quantidades de acréscimo de fibra de 1, 2 e 3 kg/m³ de concreto. Entretanto, o aumento de acréscimo de fibra apresentou queda no módulo de elasticidade, sendo que a mistura com 4 kg/m³, apresentou valor igual ao da mistura de referência.

A fibra influenciou diretamente a deformação do concreto permeável, resultando na redução da flecha máxima principalmente nas misturas com 1 e 2 kg/m³, o que impactou diretamente no aumento do módulo de elasticidade, visto que o mesmo é diretamente proporcional à carga e inversamente proporcional ao deslocamento no centro do corpo de prova (flecha).

Isso ocorre porque a fibra segura a abertura da trinca, dificultando sua propagação, o que reduz o valor da flecha no centro do corpo de prova. A partir de certa quantidade de fibra a resistência começa a cair o suficiente para que a fibra não consiga segurar mais a propagação da trinca e, conseqüentemente a deformação da flecha.

O acréscimo de fibras também apresentou queda de densidade e aumento do índice de vazios e coeficiente de permeabilidade, o que ficou mais evidente com o aumento do acréscimo de fibras. Todas as misturas apresentaram excelentes capacidades drenantes, maiores do que a sugerida pela literatura.

5 REFERÊNCIAS

ADAMU, Musa; AYENI, Kingsley Oyime; HARUNA, Sadi Ibarahim; MANSOUR, Yasser El-Husseini Ibrahim; HARUNA, Sani. Durability performance of pervious concrete containing rice husk ash and calcium carbide: A response surface methodology approach. *Case Studies in Construction Materials*, v. 14, e00547, 2021.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM. C1116/C1116M - 10A**: Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete. West Conshohocken: ASTM, 2017. 7 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1688/C1688M - 14A**: Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete. West Conshohocken: Astm International, 2014. 4 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E855-90**: Standard Test Methods for Bend Testing of Metallic Flat Materials for Spring Applications. West Conshohocken, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019. 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956**: Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e

procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16886: Concreto** — Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 2020. 4 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

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

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2012.tde-19072013-155819>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BIGOTTO, S. A. M. **Estudo de traços de concreto permeável com adição de areia e sílica**. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). FEIS— UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil 2021.

BRASILEIRO, K. P. T. V.; NAHIME, B. DE O.; LIMA, E. C.; ALVES, M. M.; FERREIRA, W. P.; SANTOS, I. S. DOS; BEZERRA FILHO, C. P.; REIS, I. C. Influence of recycled aggregates and silica fume on the performance of permeable concrete. **Construction Engineering Journal**, v. 82, 1º abr. 2024, p. 108347. . Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223025305>>. Acesso em: 5 jul. 2024.

ELANGO, K. S.; GOPI, R.; SARAVANAKUMAR, R.. Properties of pervious concrete: a state of the art review. **Amsterdam**: Elsevier, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785320384765>. Acesso em: 2 jan. 2021.

FEI, M., LUO C., ZHENG X., FU T., LING K., CHEN H., LIU W., QIU R. High-performance permeable concrete using low-cost modified vinyl ester as a binder. **Construction and Building Materials**, v. 414, p. 134908, 2 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824000497>>. Acesso em: 5 jul. 2024.

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, 2014, p.524-529.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 17785-1**: Testing methods for pervious concrete – Part 1: Infiltration rate. 2016. 9 p.

KISTAN, S.; A. KUMAR, M. JOHNSON, Y. LI, E T. BROWN. Characterization of concrete durability under aggressive environmental conditions. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 35, n. 4, p. 123-132, 2023. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004201.

LIN, C.; YU, J.. Research on improving polymer pervious concrete mechanical strength by adding EVA to UP resin binder material. **Construction and Building Materials**, v. 359, p. 129416, 12 dez. 2022.

SABOO, N.; SHIVHARE, S.; KORI, K. K.; CHANDRAPPA, A. K. Effect of fly ash and metakaolin on pervious concrete properties. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 223, p. 322-328, 2019.

SANTANA, A., M., C., ROCHA, G., A., D., BOLANDIM, E., A., GONÇALVES, A., C., ALBUQUERQUE, M., C., F.. Estudo da influência das adições de fibra de vidro álcali- resistentes nas propriedades do concreto permeável. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 20, n. 3, 2024.

SILVA, R. G. da; BORTOLETTO, M.; SPÓSITO, F. de A.; BIGOTTO, S. A. M.; ASSUNÇÃO, C. C.; ALBUQUERQUE, M. da C. F. de. **Concreto permeável: principais características e aplicação em pavimentação**. Revista Científica ANAP Brasil, v. 12, n. 26, 2019.

SILVA, R. G. **Estudo de concreto permeável como pavimento**. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). FEIS– UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil 2019.

SILVA, V., A., Vianna, A., C., S., Costa Júnior, R., F., Bartko, N.. Analysis of the behavior of concrete structures with polypropylene fiber under bending. **Revista. Teccen**, Vassoura - RJ, 12 (2): p. 23-29, 25 nov. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338055119_Analise_do_comportamento_de_e estruturas_de_concreto_com_fibra_de_polipropileno_sob_flexao. Acesso em: 04 abr. 2024.

SUMANASOORIYA, M. S.; NEITHALATH, N. Pore structure features of pervious concrete proportioned for desired porosities and their performance prediction. **Cement & Concrete Composites**, v.33, 2011, p. 778-787.

SUN, Z.; LIN, F.; VOLLPRACHT, A. Pore structure and permeability of concrete: Effects of water vapour uptake and loss. **Cement and Concrete Research**, v. 108, p. 123-132, 2018. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.018.

TENNIS, PAUL, D.; LEMING, MICHAEL, L.; AND AKERS, DAVID, J. Pervious Concrete Pavements. **Portland Cement Association, Skokie, Illinois and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring**, Maryland, USA, 2004, 36 pages.

TOGHROLI, ALI; MEHRABI, PEYMAN; SHARIATI, MAHDI; TRUNG, NGUYEN THOI; JAHANDARI, SOHEIL; RASEKH, HALEH. Evaluating the use of recycled concrete aggregate and pozzolanic additives in fiber-reinforced pervious concrete with industrial and recycled fibers. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 252, p. 118997, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118997>. Acesso em: 14 jul. 2023.

YANG J, JIANG G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. **Cement & Concrete Composites**. 2003;33(3):381–6.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Profa. Adjunta Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
 - **Curadoria de Dados:** Mestre Guilherme Augusto Donegá Rocha
 - **Análise Formal:** Mestre Guilherme Augusto Donegá Rocha
 - **Aquisição de Financiamento:** Todos os autores
 - **Investigação:** Mestre Anderson Mauricio Carvalho Santana
 - **Metodologia:** Prof. Dr. Alexsandro dos Santos Felipe
 - **Redação - Rascunho Inicial:** Mestre Guilherme Augusto Donegá Rocha
 - **Redação - Revisão Crítica:** Prof. Titular Aparecido Carlos Gonçalves
 - **Revisão e Edição Final:** Profa. Adjunta Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
 - **Supervisão:** Profa. Adjunta Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Eu/Nós, Guilherme Augusto Donegá Rocha, Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque, Anderson Mauricio Carvalho Santana, Alexsandro dos Santos Felipe, Aparecido Carlos Gonçalves, declaramos que o manuscrito intitulado Análise da influência da adição de fibras de polipropileno no concreto permeável:

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-