XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Estudo de composições de concreto permeável: uma contribuição para drenagem urbana

Study of pervious concrete compositions: a contribution to urban drainage

Diego Alexandre Vaz
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Guarapuava | Brasil | diegoborbavaz@gmail.com
Rafaella Salvador Paulino
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | rafaellaspaulino@gmail.com
Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Guarapuava | Brasil | rodrigosribeiro@utfpr.edu.br

Resumo

A impermeabilização do solo reduz as superfícies de absorção, causando um aumento no escoamento das águas pluviais e possível ocorrência de inundações, o que afeta a população. A fim de minimizar este problema, foram estudadas propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas de concretos permeáveis, de traço 1:4, com relação a/c de 0,30 e composições granulométricas de 100% de brita 0 (B0), 100% de brita 1 (B1) e 50% de cada (BM). A B0 conferiu melhor acabamento superficial aos concretos, a B1, maior permeabilidade e a BM, maior resistência mecânica. Mediante o desempenho desejado para o pavimento, o concreto permeável mostrou-se uma alternativa sustentável para superfícies impermeáveis.

Palavras-chave: Concreto poroso. Permeabilidade. Porosidade. Sustentabilidade.

Abstract

Soil sealing reduces the absorption surfaces, causing an increase in rainwater runoff and possible flooding, which affects the population. In order to minimize this problem, physical, mechanical and hydraulic properties of permeable concretes of 1:4 mix, with a w/c ratio of 0.30 and granulometric compositions of 100% of gravel 0 (B0), 100% of crushed stone 1 (B1) and 50% of each (BM). B0 gave better surface finish to concrete, B1, greater permeability and BM, greater mechanical strength. Through the desired performance for the pavement, permeable concrete proved to be a sustainable alternative to waterproof surfaces.

Keywords: Porous concrete. Permeability. Porosity. Sustainability.

Como citar:
VAZ, D. A.; PAULINO, R. S.; SCOCZYNSKI, R. S. Estudo de composições de concreto permeável: uma contribuição para drenagem urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico provocou o aumento no número de edificações culminando na expansão dos centros urbanos [1]. Em conjunto ao processo de urbanização, por vezes mal planejada, o desafio da drenagem urbana torna-se cada vez maior e mais complexo, envolvendo aspectos ambientais, sanitários, paisagísticos e técnicos [2, 3].

A fim de minimizar a ocorrência de inundações e suas consequências, novos sistemas e tecnologias voltadas à drenagem urbana se faz necessários. Materiais geralmente utilizados para pavimentação das vias, como o concreto asfáltico e o concreto de cimento Portland são muito pouco permeáveis e uma alternativa para aumentar a infiltração, diminuindo o escoamento superficial é o emprego do concreto permeável, que tem sido objeto de interesse de muitos pesquisadores da área nos últimos anos [4]. Pavimentos produzidos com este material permitem que as águas pluviais penetrem na superfície da terra, de tal modo a reabastecer efetivamente as águas subterrâneas, aliviar o efeito da ilha de calor urbana, reduzir o ruído gerado pela interação pneu-pavimento e proteger o sistema de água natural urbano contra danos [5-9].

O concreto permeável possui uma estrutura porosa formada pela união do agregado graúdo com uma fina camada de pasta de cimento, na qual os poros internos são distribuídos de forma aleatória e não uniforme [5; 10]. Geralmente não se utiliza agregados miúdos em sua mistura. Este fato facilita a formação de uma porosidade maioritariamente interligada, que ao mesmo tempo que aumenta a sua eficiência hidráulica, acaba por diminuir seu desempenho mecânico [11-13]. As características dos poros também desempenham um papel dominante nos atributos de permeabilidade do concreto permeável, pois é um parâmetro chave que determina seu desempenho estrutural. Além disso, o teor de água livre em materiais compósitos à base de cimento afetará a sua durabilidade a longo prazo [10; 5].

Estudos mostram que o tamanho e a gradação do agregado, a porosidade e a relação água-cimento do concreto permeável influenciam as suas características de permeabilidade em diferentes graus [12, 14, 15]. Park *et al.* (2022) [16] investigaram o efeito das propriedades reológicas do ligante fresco na resistência à compressão do concreto permeável. Li *et al.* (2022) [17] verificaram que as propriedades da pasta, volume de agregados, espessura do filme de água e espessura do filme de pasta desempenham papéis importantes e, portanto, são os principais fatores a serem considerados no projeto de concreto permeável.

Sendo assim, este trabalho buscou avaliar as propriedades de concretos permeáveis produzidos com diferentes composições granulométricas (100% de brita 0, 100% de brita 1 e 50% de cada), a fim de promover a sua utilização em pavimentos, mediante diferentes condições de desempenho desejáveis, com vistas à benefícios tecnológico, ambiental e social.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a produção dos concretos foi utilizado o cimento Portland CP II-F-32, em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16697:2018 [18], por ser mais facilmente encontrado no comércio local. Tal cimento possui uma dosagem única de calcário e argila, com adição apenas de fíler calcário e gesso, mais puro e fino, o que favorece a formação do conglomerado sem preenchimento dos poros [19]. A massa específica do cimento CP II-F-32 é de 3,14 g/cm³, obtida conforme as prescrições da ABNT NBR 16605:2017 [20]. As demais especificações do cimento foram fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Especificações do Cimento Portland CP II F-32

CP II-F-32		**Limite NBR 16697 (2018) [18]**
Características físicas		
Início do tempo de pega (min.)	202	≥ 60
Fim do tempo de pega (min.)	266	≤ 600
Resíduo insolúvel (%)	1,37	≤ 7,5
Resistência à compressão - 1 dia (MPa)	14,8	-
Resistência à compressão - 3 dias (MPa)	28,9	≥ 10
Resistência à compressão - 7 dias (MPa)	34,4	≥ 20
Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	41,3	≥ 32
Características químicas		
Al_2O_3 (%)	4,18	-
SiO_2 (%)	18,56	-
Fe_2O_3 (%)	2,65	-
CaO (%)	60,11	-
MgO (%)	3,69	-
SO_3 (%)	2,57	≤ 4,5
Perda de fogo (%)	6,41	≤ 12,5
CaO livre (%)	1,15	-

Fonte: o fabricante.

Os concretos foram produzidos utilizando-se 100% de brita 0 (B0), 100% de brita 1 (B1), 50% de brita 0 e 50% de brita (BM), cuja combinação foi escolhida no intuito de melhorar a distribuição dos grãos de forma contínua. Na Tabela 2 apresenta-se a análise granulométrica de todas as composições, determinada com base nas prescrições da ABNT NBR NM 248:2003 [21] e na Figura 1 é possível visualizar as suas respectivas curvas granulométricas.

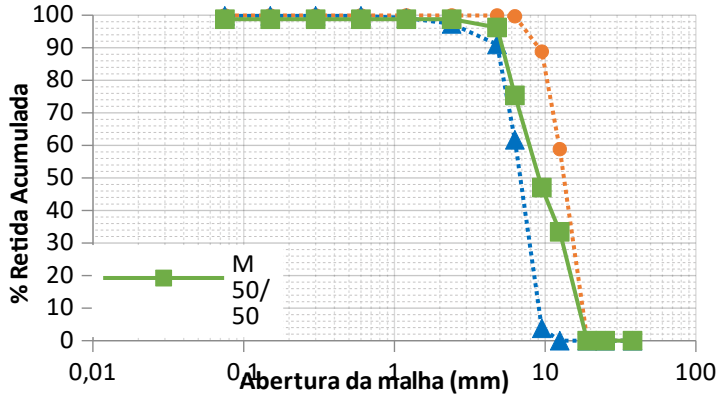
Tabela 2: Análise granulométrica B0, B1 e BM

Tipo de brita	**B0**		**B1**		**BM**	
Abertura da malha (mm)	**% Retida**	**% Retida acumulada**	**% Retida**	**% Retida acumulada**	**% Retida**	**% Retida acumulada**
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,53	0,53	0,00	0,00
12,5	0,00	0,00	58,31	58,84	33,47	33,47
9,5	3,82	3,82	29,99	88,83	13,61	47,07
6,3	57,89	61,71	10,85	99,68	28,31	75,38

4,8	29,31	91,01	0,26	99,94	20,87	96,25
2,4	6,35	97,36	0,00	99,94	2,52	98,77
1,2	1,77	99,13	0,00	99,94	0,00	98,77
0,6	0,67	99,80	0,00	99,94	0,00	98,77
0,3	0,00	99,80	0,00	99,94	0,00	98,77
0,15	0,00	99,80	0,00	99,94	0,00	98,77
0,075	0,00	99,80	0,00	99,94	0,00	98,77
Fundo	0,20	100,00	0,06	100,00	1,23	100,00
D60	7,30		15,00		12,00	
D10	4,85		9,40		5,50	
C.u.	1,51		1,60		2,18	
DMC (mm)	9,50		19,00		19,00	
MF	5,91		6,89		6,37	

Fonte: o autor.

Figura 1: Curvas granulométricas B0, B1 e BM



Fonte: o autor.

Observa-se na Figura 1 que a brita 0 possui granulometria contínua, tendo seis tamanhos de grãos apenas em sua composição, com coeficiente de uniformidade de 1,51. A brita 1 apresenta uma granulometria contínua tendo cinco tamanhos de grãos em sua composição e um coeficiente de uniformidade de 1,60, o que indica que é um pouco mais contínua do que a B0. A combinação das britas 0 e 1 apresenta uma distribuição mais contínua com cinco tamanho de grãos e com coeficiente de uniformidade de 2,18. Entende-se como granulometria contínua aquela que tem vários tamanhos de grãos, granulometria uniforme a que só tem um tamanho de grão e finalmente granulometria descontínua a que tem uma faixa incompleta de grãos [22]. O concreto permeável adota principalmente gradações uniforme ou descontínua de agregados graúdos como esqueleto [5].

Os resultados dos demais ensaios de caracterização realizados nos agregados graúdos, assim como suas respectivas normas, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização física das britas

Ensaio	**Norma técnica**	**B0**	**B1**	**BM**
Massa unitária (kg/m³)	NBR 16972:2021 [23]	1600	1670	1610
Massa específica (kg/m³)	NBR 16917:2021 [24]	2870	2900	2880
Absorção de água (%)	NBR 16917:2021 [24]	1,71	1,34	1,53

Fonte: o autor.

Da Tabela 3 pode-se concluir que não houve muitas variações em parâmetros como a massa específica, massa unitária e a absorção de água devido ao fato de que as três composições granulométricas utilizadas eram do mesmo tipo de material, o basalto.

DEFINIÇÃO DO TRAÇO E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

O traço do concreto utilizado foi estabelecido com base nas diretrizes da ACI 522R (2006) [25] e nos resultados obtidos nos estudos de Höltz (2011) [4], em 1:4 (cimento:agregado graúdo), em massa. Como teste preliminar, foram testadas três relações água/cimento (a/c): 0,30, 0,35 e 0,40 para produção dos concretos, cujas misturas estão ilustradas na Figura 2.

Figura 2: Misturas no estado fresco - Relação a/c 0,30 (direita). Relação a/c 0,35 (centro). Relação a/c 0,40 (esquerda)



Fonte: o autor.

Uma relação a/c alta pode resultar em uma pasta muito fluida, que escorre dos agregados e preenche os vazios do concreto permeável, já uma relação a/c muito baixa pode resultar em uma adesão reduzida entre as partículas de agregado, gerando problemas para a formação do conglomerado [25]. Portanto, apesar de durante o processo de mistura os traços com relação a/c 0,30 não terem apresentado excelente trabalhabilidade, após o processo de cura no teste preliminar foi possível notar a existência de coesão entre os materiais. Além disso, os traços com relação a/c de 0,35 e 0,40 apresentaram visualmente menos poros e vazios em relação ao 0,30. Portanto, optou-se pela utilização da relação a/c de 0,30 para produção dos concretos. Os consumos de materiais para produção dos três diferentes traços estão apresentados no Quadro 1, assim como a relação a/c e água/materiais secos (a/ms).

Quadro 1: Consumo de materiais

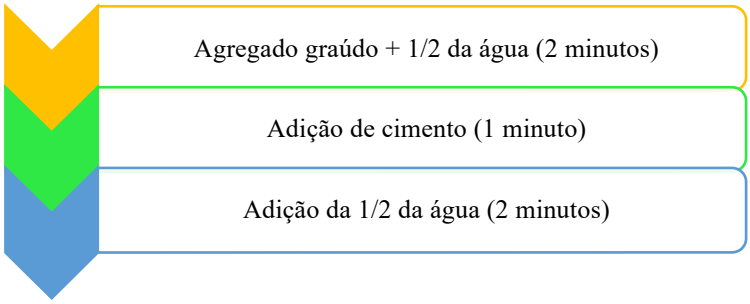
Tipo de agregado	Cimento (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	a/c	a/ms
B0	6,870	27,478	-	2,061	0,30	0,06
B1	6,919	-	27,677	2,076	0,30	0,06
BM	6,894	13,789	13,789	2,068	0,30	0,06

Fonte: o autor.

O concreto foi produzido conforme a sequência apresentada na Figura 3, baseando-se nos estudos realizados por Sandoval (2014) [26], que verificou que este tempo era

o suficiente para se obter uma consistência adequada e uma boa trabalhabilidade para a moldagem.

Figura 3: Processo de mistura



Fonte: adaptado de Sandoval (2014) [26].

Após a produção dos concretos, foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos de dimensão 10x20 cm, para cada traço, os quais foram adensados em 2 camadas com 12 golpes em cada. Todos os corpos de prova foram mantidos devidamente protegidos contra a perda de umidade durante as primeiras 24 ± 6 horas, contadas a partir do início da mistura. Após desmoldados, os corpos de prova foram curados submersos em tanque saturado com cal, até a idade de 28 dias. Os procedimentos de moldagem e cura dos corpos de prova foram realizados conforme estabelecido pela ABNT NBR 5738:2015 [27].

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Após o processo de cura, os corpos de prova foram caracterizados no estado endurecido, por meio da execução dos ensaios apresentados no Quadro 2, que também apresenta a quantidade de corpos de prova ensaiados e as normas técnicas vigentes.

Quadro 2: Ensaios de caracterização

Classificação	Ensaio	Qtde.	Norma técnica
Físico	Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	5	NBR 9778:2005 [28]
Mecânico	Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos	5	NBR 5739:2018 [29]
	Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos	5	NBR 7222:2011 [30]
Hidráulico	Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável (Adaptado)	5	NBR 14545:2021 [31]

Fonte: o autor.

Os procedimentos de ensaios para determinação de absorção de água e índice de vazios, resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral seguiram rigorosamente as normas técnicas. O ensaio de permeabilidade foi feito mediante uma adaptação do ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Tal método foi utilizado nos

estudos realizados por Höltz (2011) [5] e se baseia num conceito equivalente ao de um permeâmetro de carga variável para determinar o coeficiente de permeabilidade do material. Os ensaios estão ilustrados na Figura 4. Para as análises estatísticas das amostras foram realizados os testes de Shapiro-Wilk e ANOVA.

Figura 4: Ensaios: a) Índice de absorção de água (saturação, imersão e secagem) b) Resistência à compressão c) Resistência à tração d) Permeabilidade.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

PROPRIEDADES FÍSICAS

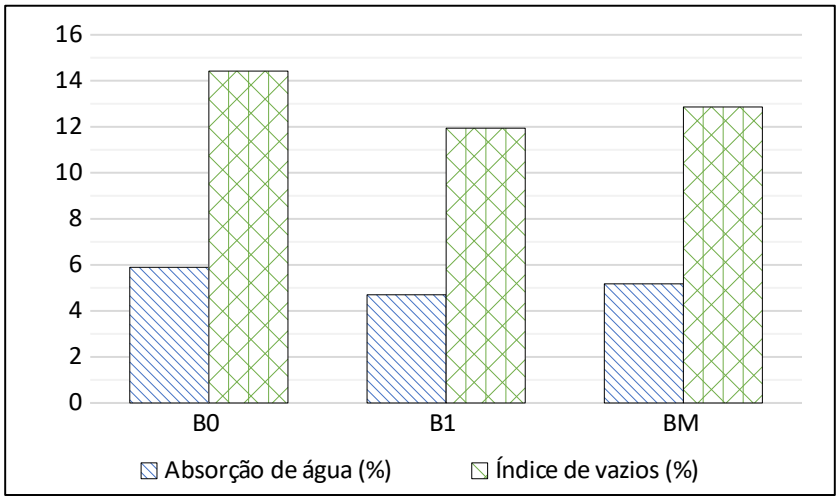
A absorção de água (AA), índice de vazios (IV) e massa específica dos concretos correspondem à média de cinco corpos de prova, obtidos segundo a ABNT NBR 9778:2005 [28]. Os resultados médios, bem como o desvio padrão e coeficiente de variação da amostra estão apresentados na Tabela 4 e ilustrados no Gráfico 1.

Tabela 4: Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Tipo de agregado	Absorção de água			Índice de vazios			Massa específica		
	Média (%)	Desv. Pad. (%)	C.V. (%)	Média (%)	Desv. Pad. (%)	C.V. (%)	Média (g/cm³)	Desv. Pad. (g/cm³)	C.V. (%)
B0	5,90	0,10	1,63	14,42	0,25	1,71	2,85	0,01	0,51
B1	4,70	0,10	2,16	11,94	0,24	1,99	2,88	0,01	0,33
BM	5,17	0,20	3,81	12,86	0,41	3,21	2,86	0,01	0,34

Fonte: o autor.

Gráfico 1: Absorção de água, índice de vazios e massa específica



Fonte: o autor.

Analisando-se os resultados é possível observar que a absorção de água e o índice de vazios estão intimamente ligados visto que quanto maior o índice de vazios maior a absorção de água dos concretos, sendo que o traço com brita 0 apresentou os maiores valores para ambas propriedades (AA 5,90% e IV 14,42%), seguido do traço com brita mista (AA 5,17% e IV 12,86%) e por fim, os menores valores foram apresentados pelo traço com brita 1 (AA 4,70% e IV 11,94%). Isso está relacionado, possivelmente, à absorção de água dos agregados, visto que a B0, BM e B1 apresentaram valores de 1,71, 1,53 e 1,34%, para esta propriedade, respectivamente. Com relação à massa específica, observou-se uma pequena variação entre os traços, sendo que o traço com maior índice de vazios (B0) apresentou a menor massa específica. A faixa destes resultados corroboram com os apresentados por Sandoval (2014) [26].

PROPRIEDADES MECÂNICAS

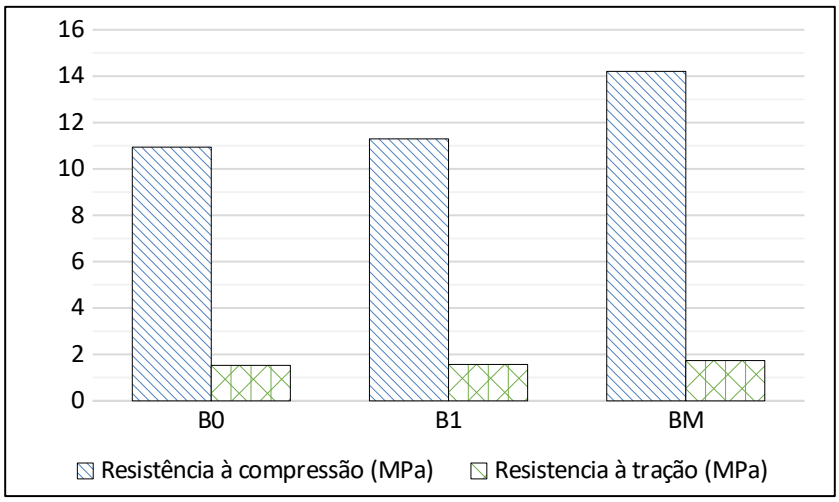
A resistência à compressão e à tração por compressão diametral dos concretos foram determinadas de acordo com a ABNT NBR 5739:2018 [29] e ABNT NBR 7222:2011 [30], respectivamente, utilizando-se amostras de cinco corpos de prova para cada traço. Os resultados médios, bem como o desvio padrão e coeficiente de variação da amostra estão apresentados na Tabela 5 e ilustrados no Gráfico 2.

Tabela 5: Resistência à compressão e à tração por compressão diametral

Tipo de agregado	Resistência à compressão			Resistência à tração		
	Média (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	C.V. (%)
B0	10,94	0,54	4,95	1,53	0,04	2,71
B1	11,30	0,92	8,18	1,57	0,15	9,30
BM	14,21	0,17	1,16	1,73	0,17	9,87

Fonte: o autor.

Gráfico 2: Resistência à compressão e à tração por compressão diametral



Fonte: o autor.

É possível verificar por meio da análise dos resultados que houve um aumento de resistência à compressão à medida que o coeficiente de uniformidade do agregado cresceu, visto que o C.U. da B0, foi de 1,51, da B1, de 1,60 e da BM de 2,18. Isso ocorreu, possivelmente, pelo fato de a distribuição mais contínua favorecer o ganho de resistência. De forma análoga apresentaram-se os resultados de resistência à tração por compressão diametral. É válido ressaltar que o travamento dos grãos é um parâmetro importante quando verificado a resistência à tração, uma vez que granulometrias uniformes, com só um tamanho de grãos, não geram travamento e tornam mais frágeis os contatos entre eles. De maneira semelhante ao que se constatou na resistência à compressão, os traços com brita mista apresentaram as maiores resistências. Tais resultados são corroborados pelas pesquisas de Neptune e Putman (2010) [22] e Sandoval (2014) [26].

PROPRIEDADE HIDRÁULICA

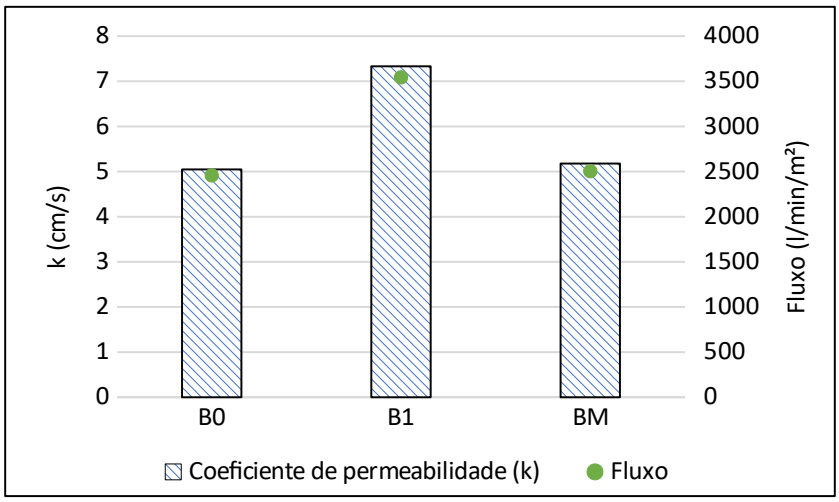
O coeficiente de permeabilidade e o fluxo dos concretos permeáveis foram determinados através de adaptações da ABNT NBR 14545:2021 [31], utilizando-se uma amostra de cinco corpos de prova para cada traço. Os resultados médios, bem como o desvio padrão e coeficiente de variação da amostra estão apresentados na Tabela 6 e ilustrados no Gráfico 3.

Tabela 6: Coeficiente de permeabilidade e fluxo

Tipo de agregado	Coeficiente de permeabilidade			Fluxo		
	Média (cm/s)	Desv. Pad. (cm/s)	C.V. (%)	Média (l/min/m²)	Desv. Pad. (l/min/m²)	C.V (%)
B0	5,05	0,39	7,68	2458,05	199,86	8,13
B1	7,33	0,62	8,39	3543,85	351,87	9,93
BM	5,18	0,39	7,48	2504,25	175,54	7,01

Fonte: o autor.

Gráfico 3: Coeficiente de permeabilidade e fluxo



Fonte: o autor.

O coeficiente de permeabilidade e o fluxo estão intimamente ligados entre si, visto que com o aumento do coeficiente de permeabilidade há consequentemente um maior fluxo, para todos os traços. Com base nos resultados, verificou-se que todos os traços atenderam os valores mínimos estipulados pela norma ACI 522R (2006) [25]: coeficiente de permeabilidade de 1,35 cm/s e fluxo de 200 l/min/m². Notou-se que o concreto de brita 1 obteve o maior coeficiente de permeabilidade quando comparado com as outras duas granulometrias. Este fato se explica, possivelmente, pela sua granulometria uniforme, pelo diâmetro do agregado máximo de 19 mm e seu C.U. de 1,60, pois os vazios internos têm um maior diâmetro e como consequência uma maior permeabilidade. Com o aumento da porosidade, a conectividade entre os poros é melhorada e consequentemente, há um aumento dos canais de infiltração que resultam em uma maior permeabilidade (SHAN et al., 2022) [5].

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para todos as propriedades analisadas, os p-valores encontrados por meio do teste de Shapiro-Wilk para cada traço foram maiores que o nível de significância (5,00%), logo, as amostras de cada traço utilizadas compõem uma distribuição normal, enquanto que o p-valor encontrado por meio do teste ANOVA ficou abaixo do nível de significância (5,00%), rejeitando assim a hipótese que não existe diferença estatística entre os diferentes traços quanto aos valores de absorção de água e índice de vazios.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste estudo permitiu concluir que as resistências mecânicas (compressão e tração) se mostraram satisfatórias para o emprego do concreto permeável em calçadas e passeios, onde não existe um tráfego pesado, para as três composições granulométricas. A utilização de 100% de brita 0 conferiu um concreto com melhor acabamento; 100% brita 1, proporcionou um concreto mais permeável e o concreto produzido com a brita mista apresentou os maiores valores de resistência. Portanto, concluiu-se que a escolha da composição granulométrica para produção do concreto permeável deve levar em consideração as condições de desempenho desejadas para o pavimento em questão. Para uso na pavimentação de estacionamentos e ruas com trânsito veicular, sugere-se novos estudos a fim de que os concretos atinjam maiores resistências e atendam aos requisitos técnicos para este emprego. Relacionado à permeabilidade, os resultados mostraram-se satisfatórios, no entanto, ainda assim, para que se possa produzir um pavimento eficaz, é necessário analisar características do solo onde será instalado e também o índice pluviométrico da região. Concluiu-se que a utilização do concreto permeável como uma alternativa às superfícies impermeáveis com o concreto convencional e o asfalto mostra-se uma proposta válida e sustentável em vista da problemática urbana, representada, sobretudo, pelas grandes enxurradas e alagamentos.

REFERÊNCIAS

[1] MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem sócio ambiental urbana: uma reflexão a partir da RCM e de Curitiba. **Desenvolvimento e meio ambiente**. Curitiba: UFPR. n. 10, p. 139-148. Out. 2004.

[2] LAMB, G. S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

[3] TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007.

[4] HÖLTZ, F. C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

[5] SHAN, J.; ZHANG, Y.; WU, S.; LIN, Z.; LIC, L.; WU, Q. Pore characteristics of pervious concrete and their influence on permeability attributes. **Construction and Building Materials**, v. 327, p. 126874, april 2022.

[6] YU, F.; SUN, D.; WANG, J.; HU., M. Influence of aggregate size on compressive strength of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 209, pp. 463-475, 2019.

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

[8] CHEN, X.; SHI, D.; SHEN, N.; LI, S.; LIU, S. Experimental study and analytical modeling on fatigue properties of pervious concrete made with natural and recycled aggregates. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 13, n. 10, jan. 2019.

[9] LIU, R.; CHI, Y.; CHEN, S.; JIANG, Q.; MENG, X.; WU, K. Influence of pore structure characteristics on the mechanical and durability behavior of pervious concrete material based on image analysis. **International Journal of Concrete Structures and Materials,** v. 14, n. 29., jun. 2020.

[10] WANG, Z.; ZOU, D.; LIU, T.; ZHOU, A. Influence of paste coating thickness on the compressive strength, permeability, and mesostructure of permeable concrete. **Construction and Building Materials**, v. 299, p. 123994, 2021.

[11] ZHONG, R.; LENG, Z.; SUN POON, C. Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: A state-of-the-art and state-of-the-practice review, **Construction and Building Materials**, v. 183, n. 20, p. 544-553, oct. 2018.

[12] CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Pervious concrete as a sustainable pavement material - Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 111, n. 15, p. 262–274, may. 2016.

[13] WEISS, P. T.; KAYHANIAN, M.; KHAZANOVICH, L.; GULLIVER, J. S. **Permeable Pavements in Cold Climates: State of the Art and Cold Climate Case Studies**, Mn/Rc 2015–30 (2015).

[14] PARK, J.H.; KIM, Y.U.; JEON, J.; WI, S.; CHANG, S. J.; KIM, S. Effect of eco-friendly pervious concrete with amorphous metallic fiber on evaporative cooling performance**. Journal of Environmental Management**. v. 297, n. 1, November, p. 113269, 2021.

[15] TORRES, A.; HU, J.; RAMOS, A. The effect of the cementitious paste thickness on the performance- of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 95, n. 1, p. 850-859, oct. 2015.

[16] SUNGWOO PARK; SUHAWN JU; HYEONG-KI KIM; YO-SEOB SEO; SUKHOON PYO. Effect of the rheological properties of fresh binder on the compressive strength of pervious concrete. **Journal of Materials Research and Technology**. v. 17, p. 636-648, March–April 2022.

[17] LI, L. G.; FENG, J. J.; LU, Z. C.; XIE, H. Z.; XIAO, B. F.; KWAN, A. K. H.; JIAO, C. J. Effects of aggregate bulking and film thicknesses on water permeability and strength of pervious concrete . **Powder Technology**. Volume 396, Part B, p. 743-753, Jan. 2022.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

[19] KIHARA, Y.; CENTURIONE, S. L. O cimento Portland. In: ISAIA, G.C. Concreto, ensino, pesquisa e realizações. v. 2. São Paulo: **Anais [...]** IBRACON, 2005. p. 295-322.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

[22] NEPTUNE, A. I.; PUTMAN, B. J. Effect of Aggregate Size and Gradation on Pervious Concrete Mixtures. **ACI Materials Journal**, v. 107, n. 6, p. 625-631, dez. 2010.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

[25] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-06**: pervious concrete. Farmington Hills, 2006.

[26] SANDOVAL, G. F. B**. Desempenho do concreto poroso com agregados sustentáveis.** 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

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

[28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

[29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

[30] 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.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545**: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2021.