



## Estudo da viabilidade técnica do uso de concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional

Marília Cristina Barata da Costa<sup>1</sup>, Luzilene Souza Silva<sup>1</sup>, Marlos Henrique Pires Nogueira<sup>1</sup>, Gleisy Kelly Moreira Lima<sup>1</sup>, Núbia Jane da Silva Batista<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Belém - PA- Brasil

mbcosta@gmail.com, eng.luzilene@gmail.com, paulistta2000@yahoo.com.br, gleisy.fotog@hotmail.com, nubiabatista257@gmail.com

**Resumo.** *A Região Metropolitana de Belém (RMB) enfrenta sérios problemas no que diz respeito à falta de drenagem adequada das vias urbanas, a notar pelos constantes problemas de enchentes ocorridos em vários pontos da cidade. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo geral, produzir um concreto permo-poroso a fim de identificar as possíveis vantagens advindas da utilização desse compósito em pavimentos urbanos de baixo tráfego. Os resultados obtidos demonstraram que todos os traços produzidos alcançaram o limite mínimo de compressão axial estabelecido pela ABNT NBR 16416 (2015) que é de 2 MPa para utilização em pavimentos de baixo tráfego. Entre os três traços estudados (M1, M2 e M3) observou-se que a composição que obteve o melhor desempenho no ensaio mecânico de compressão axial e de condutividade hidráulica realizados foi o M3. Todas as composições apresentaram desempenho satisfatório de permeabilidade, estando de acordo com o estabelecido pela referida norma.*

**Palavras Chave:** *Drenagem Urbana. Redução do Escoamento. Pavimento Permeável.*

**Abstract.** *The Metropolitan Region of Belém (RMB) faces serious problems regarding the lack of proper drainage of urban roads, to be noted by the constant problems of floods that occurred in various parts of the city. In this sense, this work has the general objective of producing a permo-porous concrete in order to identify the possible advantages of using this composite in low traffic urban pavements. The results showed that all traces produced reached the minimum axial compression limit established by ABNT NBR 16416 (2015) that is 2 MPa for use in low traffic pavements. Among the three traces studied (M1, M2 and M3) it was observed that the composition that obtained the best performance in the mechanical test of axial compression and hydraulic conductivity was M3. All compositions presented satisfactory permeability performance, being in agreement with the established by said norm.*

**Key words:** *Urban Drainage. Drainage Reduction. Permeable floor.*



## 1. Introdução

Grande parcela da área habitada na cidade de Belém - PA é desprovida de sistema de drenagem pluvial. Canais, galerias, bocas de lobo e poços de visita, quando existentes, superam em curto período sua capacidade máxima de vazão, provocando enchentes (CHAVES e MOREIRA, 2015).

Diante desse contexto, torna-se necessário a adoção de medidas alternativas para a solução ou amenização de tais problemas. Uma das possíveis soluções indicadas é o uso do pavimento permeável de concreto (OLIVEIRA, 2017). No entanto, como destacado por Mazzonetto (2011), a resistência é inversamente proporcional à permeabilidade, por isso, o aumento da porosidade do concreto diminui a sua resistência. Dessa forma, há limitações no uso do concreto permeável, sendo este indicado para locais onde a resistência é menos relevante (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O pavimento permeável é caracterizado por possuir elevada porosidade e boa drenabilidade, dependendo da sua composição. Devido a essa capacidade de deixar a água infiltrar através de sua superfície porosa, a utilização dessas estruturas, quando corretamente projetadas e implantadas, pode influenciar significativamente nas vazões de pico que ocorrem durante eventos de chuva em determinado local. O concreto permeável ou poroso é a última etapa de um sistema de drenagem. Tecnologia ainda não popularizada no Brasil, o material vem sendo adotado por construtores para atender ao que as legislações municipais pedem em relação à infiltração e permeabilidade na pavimentação de terrenos (MAZZONETTO, 2011).

Segundo Batezini (2013), a aplicação do concreto permeável permite o recarregamento dos aquíferos subterrâneos e redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial das águas pluviais. Além disso, favorece uma utilização mais eficiente do solo, uma vez que, minimiza, ou até dispensa outras obras de microdrenagem local como pontos de acumulo de água.

Botteon (2017) afirma que nos últimos anos o concreto permeável, considerado uma solução ecologicamente correta e sustentável, vem ganhando destaque e relevância na indústria da construção civil, sobretudo por ser reconhecido pelo Conselho de Construções Ecológicas dos EUA (*United States Green Building Council - USGBC*), que define o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) de classificação de construções sustentáveis.

O concreto permeável pode ser utilizado em grande parte das superfícies urbanas comunitárias, tais como calçadas, estacionamentos, praças, parques e áreas externas, como vias locais e pequenos acessos (MONTEIRO, 2010). As propriedades desse compósito dependem da granulometria, quantidade de cimento, relação água/cimento e quantidade de vazios. A graduação do agregado graúdo influencia diretamente sua resistência e permeabilidade, que são fatores importantes para o desempenho do concreto poroso (CHAVES e MOREIRA, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017; BOTTEON, 2017).

Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar os principais benefícios advindos do uso do concreto permo-poroso empregado na pavimentação de baixo tráfego, bem como a influência da granulometria do agregado graúdo nas propriedades físicas e mecânicas do mesmo.

## 2. Drenagem Urbana

O sistema de drenagem consiste no conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais, incluindo ainda a hidrografia e os talwegues. É constituído por uma série de medidas que visam a minimizar os riscos a que estão expostas as populações, diminuindo os prejuízos causados pelas inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e ambientalmente sustentável. Os sistemas de drenagem urbana são sistemas preventivos de inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais aos cursos d'água (MELBOURNE, 2012).

O avanço da urbanização tem como consequência principal o aumento das áreas impermeáveis. Essas áreas anteriormente possuíam infiltração natural, porém, agora, há somente um escoamento superficial. A drenagem da água é realizada através do solo, contudo, o escoamento e retorno da água ao lençol freático são dificultados em áreas urbanas, o que resulta em alterações nos leitos dos rios e dos canais, bem como no aumento no volume e constância das enchentes (TAVARES, 2016).

A impermeabilização de diversas áreas nas cidades provoca o aumento da vazão, que, por sua vez, gera o aumento de volume da água que segue para a rede de drenagem e, como a mesma não suporta todo o volume, culmina em problemas de inundações e alagamentos. Na Figura 1 é possível observar as imagens de inundações ocorridas na cidade de Belém-PA (OLIVEIRA, 2017).



**Figura 1. Problemas de alagamento em Belém**

Estes problemas são frequentes e causam grandes transtornos à população, em geral, causando lentidão no trânsito na cidade. O acúmulo de resíduos sólidos também contribui para piorar este problema, pois, obstrui os bueiros e canais, fazendo com que haja o aumento do volume de água acumulada nas vias urbanas, que também contém substâncias nocivas à saúde humana (TAVARES, 2016).

O escoamento aumenta o desgaste de condutos e canos enquanto afeta o ciclo hidrológico, causando um aumento de (6 vezes) das bacias urbanizadas em relação às bacias naturais (TUCCI, 2012).

A partir da década de 80, um conceito de controle hidrológico alternativo aos convencionais começou a conquistar espaço no cenário da drenagem urbana brasileira. As *Best Management Practices* (BMPs) são técnicas que tem como princípio básico evitar a transferência dos problemas de montante para jusante, por meio do controle do escoamento na bacia mais próximo de sua fonte, e não no curso d'água. Este conceito foi desenvolvido nos Estados Unidos da América (EUA) pela *Environmental Protection Agency* (EPA) e é baseado no planejamento do controle de águas pluviais em escala de bacia e no uso de estruturas físicas para armazenamento e infiltração do escoamento (reservatórios, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis), na tentativa de compensar os efeitos da urbanização acelerada (CHAVES e MOREIRA, 2015; TAVARES, 2016).

Apesar da importância e eficiência desse sistema no combate a problemas de escoamento superficial, ainda é comum a ocorrência de resistência às aplicações das BMPs no Brasil por parte dos projetistas, uma vez que há pouca divulgação, baixa quantidade de obras executadas, oposição natural a inovações, além de escassez de normatização específica nacional sobre o assunto. No entanto, a experiência tem mostrado que o seu uso é mais eficiente, de menor custo e, principalmente, colabora para solucionar o problema mais próximo de sua origem, sem afetar as outras regiões (ALVES, 2016).

A gestão inadequada da drenagem urbana pode gerar uma série de riscos à população e prejuízos aos bens e à economia local. Não é incomum a constatação de propagação de doenças de veiculação hídrica e de riscos de enchentes e deslizamentos associados à falta de planejamento adequado da drenagem urbana.

Alves (2016) apresentou as principais causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas (Tabela 1).

**Tabela 1. Causas e efeitos da urbanização sobre inundações urbanas**

Causas	Efeitos
Impermeabilização	Maiores picos e vazões
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água e entupimento de bueiros e galerias
Redes de esgoto deficiente	Degradação da qualidade da água; moléstia de veiculação hídrica; inundações: consequências mais sérias.
Desmatamento e desenvolvimento indiscriminado	Maiores picos e volumes; maior erosão; assoreamento em canais e galerias.
Ocupação das Várzeas	Maiores prejuízos; maiores picos; maiores custos de utilidades públicas.

**Fonte: Alves (2016)**

Na Tabela 1 pode-se avaliar a relação direta da impermeabilização do solo com o aumento de picos e vazões, assim como as redes de drenagem deficientes, causando aumento dos picos a jusante. Tavares e Kazmierczak (2016) classificaram as medidas de controle de enchente em dois tipos: **estruturais**, que envolvem obras ou uso de equipamentos e tecnologia, sendo consideradas mais onerosas; **não-estruturais**, soluções gerenciais de menor custo que procuram intervir nas causas que podem originar ou agravar um problema.

## 2.1. Impactos do Desenvolvimento Urbano na Drenagem

Segundo Tavares e Kazmierczak (2016) a urbanização produz grande impermeabilização do solo, gerando uma relação direta entre área impermeabilizada e densidade habitacional. Estes autores afirmam que a vazão máxima de uma bacia urbana aumenta conforme há o crescimento de áreas impermeáveis e com a canalização do escoamento.

Segundo Alves (2016) o aumento da vazão máxima depende da impermeabilização do solo e da ocupação da bacia pela população. Com a elevação no volume da vazão ocorre uma redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo, bem como diminuição do tempo de concentração da bacia. A Figura 2 demonstra a alteração da redução de retenção superficial devido ao aumento da impermeabilização do solo.

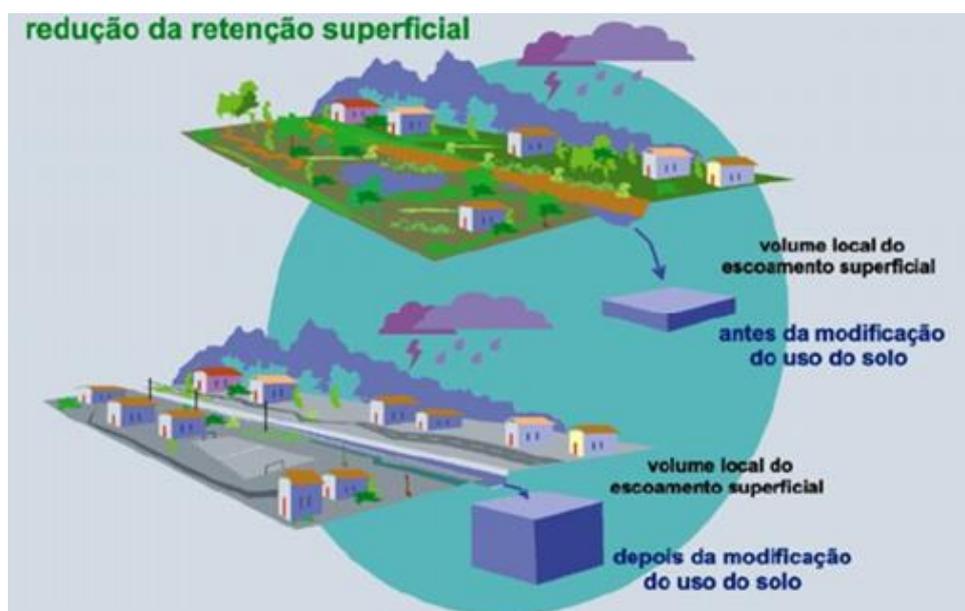


Figura 2. Redução de retenção superficial. Alves (2016)

Para planejar e mitigar os impactos da alteração do uso do solo sobre o escoamento na drenagem urbana, faz-se necessário fazer uma previsão futura das áreas impermeáveis numa bacia hidrográfica urbana, com base no planejamento urbano da cidade. No Plano Diretor Urbano das cidades a ocupação é definida por densidade de ocupação da população. Portanto, torna-se necessário desenvolver uma relação que permita relacionar estas duas variáveis de planejamento urbano e de drenagem urbana (TUCCI, 2012).

A previsão de densidade habitacional pode ser feita a partir das diretrizes estabelecidas em um Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU). Com a relação entre densidade habitacional e área impermeável é possível estimar em macrobacias urbanas as áreas impermeáveis em função da tendência futura da expansão urbana. Assim, com estas informações é possível internalizar no Planejamento Urbano o risco de inundação devido à drenagem urbana (TAVARES e KAZMIERCZAK, 2016).

## 2.2. Pavimento Permeável

A ABCP (2017) define independentemente do revestimento, pavimentos permeáveis, como sendo aqueles que permitem a infiltração de água. Para Martins (2015) os pavimentos permeáveis possuem superfícies drenantes que promovem a infiltração, armazenamento e



percolação, total ou parcial, da água advinda do escoamento superficial para o interior de uma camada de armazenamento temporário no terreno, na qual é absorvida gradualmente pelo solo.

O concreto permeável é um material composto por ligante hidráulico, material britado de graduação uniforme, água e pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Pode-se adicionar o uso de uma combinação de diferentes tipos de adições e aditivos que possuem a finalidade de atribuir ao concreto melhor desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade (GARTLAND, 2008).

Segundo Holtz (2011), o concreto permeável geralmente apresenta uma resistência à compressão na faixa de 3,5 a 28 MPa. No entanto, para Mariano (2014), esse valor pode chegar a 35 MPa. Outra peculiaridade deste tipo de concreto consiste na elevada rugosidade superficial, que faz com que o coeficiente de atrito sofra um aumento considerável quando comparado ao concreto tradicional. O fato de este material possibilitar uma maior área de atrito entre o veículo e o pavimento, contribui para o aumento da segurança de dirigibilidade, principalmente durante períodos chuvosos ou em lugares onde há a ocorrência de neve (BATEZINI, 2013; MARTINS, 2015; SCHWETZ *et al.*, 2015).

A alta permeabilidade é uma das principais razões porque esse concreto vem sendo investigado e produzido. Segundo Holtz (2011), quando o concreto poroso/ permeável é utilizado em pavimentação externa, a água da chuva pode infiltrar diretamente no solo, diminuindo a vazão que segue para o sistema de drenagem urbana. Além disso, a sua adoção também contribui para a manutenção dos aquíferos subterrâneos e à redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial dessas águas. Outra razão é porque estes materiais podem ser considerados como frescos, visto que as temperaturas que se desenvolvem em sua superfície não menores que as observadas nos pavimentos de concreto convencional e pavimentos asfálticos (GARTLAND, 2008).

Dependendo das condicionantes de projeto, o pavimento de concreto poroso e sua sub-base apresentam propriedades de armazenamento de água para uso como equipamento de drenagem urbana. Também se verifica efeito positivo de conforto ambiental, tendo em vista que, quando aplicado como pavimento permeável, o concreto poroso apresenta temperatura menor quando se compara a temperatura do capeamento betuminoso nas mesmas condições de exposição direta a radiação solar (SCHWETZ *et al.*, 2015). Outra característica deste material consiste na diminuição e controle de ruído, com possibilidades de aplicação como material para sistemas de barreira sonora (TENNIS, *et al.*, 2004). As propriedades de absorção sonora do concreto poroso não apresentam variações significativas quando alterados o tamanho do agregado ou quantidade de cimento empregado, mas estudos de absorção sonora levando em consideração a forma e dimensão das peças são variáveis que devem ser estudadas (KIM e LEE, 2010).

Entre os benefícios ambientais e econômicos decorrentes da utilização da pavimentação permeável, podem ser citados:

- Redução dos danos ambientais e urbanos decorrentes da impermeabilização dos solos ao permitir a infiltração direta de água para os aquíferos, conforme estudado por Danciguer e Reis (2016) o que gera uma consequência positiva na economia de água tratada pelo aproveitamento da água de chuva acumulada;

- Redução do pico das cheias, apontada por Tucci (2012) e Alencar (2013), que pode possibilitar economia no sistema de drenagem urbano e colaborar na diminuição de ocorrência de enchentes;

- Redução das ilhas de calor pela menor absorção de calor que os pavimentos escuros e contribuição para a oferta de ar e água para as raízes das árvores localizadas nas adjacências do concreto poroso (SCHWETZ *et al.*, 2015).

- Amenização, ou em alguns casos, eliminação do escoamento superficial (ALENCAR, 2013).

### 3. Materiais e Métodos

A fase laboratorial deste estudo foi dividida em quatro etapas, constando de: caracterização dos materiais (agregado graúdo); determinação da dosagem do concreto; confecção e moldagem dos corpos de prova e realização dos ensaios físico-mecânicos.

#### 3.1. Materiais Utilizados

Para a confecção do concreto utilizou-se o cimento CP IV 32 RS; seixo de origem quartzosa, proveniente de uma seixeira localizada no município de Capitão Poço - Pará, e água.

#### 3.2. Caracterização dos Materiais

O seixo foi submetido a ensaios para determinação de suas propriedades físicas, conforme as normas vigentes. O ensaio da composição granulométrica seguiu os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR NM 248 (2003). Para este ensaio foram utilizadas duas amostras de agregado graúdo, com (10 kg) cada uma. O peneiramento foi feito manualmente para maior precisão dos resultados. As amostras referentes a cada faixa granulométrica estão ilustradas na Figura 3.



Figura 3. Amostras de seixo em suas respectivas faixas granulométricas

A aferição da massa específica do agregado graúdo baseou-se na ABNT NBR NM 53 (2009) e utilizou-se o procedimento de ensaio estabelecido pela ABNT NBR NM 45 (2006) para determinação da massa unitária do seixo. A partir desses resultados, utilizando a Equação 1, foi possível aferir o valor do índice de vazios do concreto permeável.



$$IV=[1-(\mu/me)]*100\% \quad (1)$$

Onde:

IV= Índice de vazios;

$\mu$ = massa unitária;

$me$ = massa específica.

### 3.3. Dosagem do Concreto Permeável

Devido ao fato de não existir um método específico para a dosagem do concreto permeável, o modo encontrado para realizar a composição dos traços foi através das literaturas existentes sobre o tema. Depois de examinados vários trabalhos a respeito de produção de concreto permeável, verificou-se que, a granulometria do agregado graúdo é um dos fatores que mais interfere no desempenho final deste compósito sendo que, em sua grande maioria, os pesquisadores optam por utilizar uma granulometria uniforme.

Com base nos resultados da pesquisa de Bechara (2017), optou-se por utilizar uma granulometria fixa em 12,5 mm para o seixo, pois este autor obteve bons resultados de condutividade hidráulica e resistência mecânica para essa faixa granulométrica. Foi também com base nos resultados das literaturas analisadas que se escolheu as composições dos traços e a relação água/cimento. Foram tomados como base os trabalhos de Batezini (2013), Hóltz (2011) e Bechara (2017). Estes autores utilizaram traços variando de 1:3 a 1:6 e no que diz respeito à relação água/cimento, esta variou na faixa de 0,26 a 0,45. Através da análise dos melhores resultados obtidos por estes autores, determinou-se que seriam estudados os traços (1:3), (1:4) e (1:5) - (cimento/agregado graúdo em massa). Não se utilizou agregado miúdo neste trabalho, devido à revisão da literatura ter demonstrado que este material diminui a condutividade hidráulica do concreto permeável. A relação água/cimento estabelecida foi de: 0,29 para o primeiro traço e 0,34 para o segundo e 0,40 para o terceiro traço. O consumo de materiais utilizados para cada composição e as nomenclaturas utilizadas para cada mistura estão representados na Tabela 2.

**Tabela 2. Consumo de materiais para cada traço.**

Consumo de Material (Kg)				
Traços	Nomenclatura	CPIV 32RS/ Nassau	Seixo (12,5 mm)	Relação água/cimento
1: 3	M1	37	111	0,29
1: 4	M2	30	130	0,34
1: 5	M3	25	125	0,40

### 3.4. Fabricação do Concreto

Após a separação das quantidades de materiais necessárias para a execução de cada um dos traços utilizados, seguiu-se a seguinte ordem para realização da mistura do concreto: primeiro foi colocado todo o agregado graúdo e 50% da água e deixou-se rodar por 1 minuto na betoneira; depois foi inserido o cimento, deixando rodar por mais 3 minutos e por último foi adicionada o restante de água, rodando a mistura durante 2 minutos.

Para verificar a consistência do concreto no estado fresco, retirou-se uma amostra que foi submetida ao ensaio do abatimento pelo tronco de cone (*slump test*), segundo o que

estabelece a ABNT NBR NM 67 (1998). Primeiramente, umedeceu-se o molde e a placa metálica, depois preencheu-se o cone com o concreto em três camadas intercaladas que sofreram, cada uma, 25 golpes com uma haste metálica. Logo após, retirou-se o excesso da superfície do molde e então o cone foi levantado, e posicionado de forma invertida ao lado da amostra de concreto. Com o auxílio de uma régua metálica, fez-se a leitura da diferença entre a altura do molde e a do eixo do corpo de prova desmoldado. Para os três traços estudados (M1, M2 e M3) o *slump* aferido foi de 60mm. Por isso, optou-se pelo adensamento manual do concreto.

A seguir, a mistura final foi colocada na forma, previamente preparada com desmoldante, para facilitar a desforma, e então seguiu-se o procedimento padrão para moldagem de concreto, conforme estabelece a ABNT NBR 5738 (2015), onde são determinadas duas camadas com 12 golpes por camada para corpos de prova com dimensões 10 x 20 cm. Os blocos prismáticos, 10 x 30 cm, receberam 12 golpes de bastão metálico para cada camada. A sequência do procedimento pode ser observada na Figura 4 (a, b, c e d). Após isso, as amostras foram desformadas e logo após, colocadas em um tanque para a cura úmida.



Figura 4. Fabricação do Concreto

### 3.5. Ensaios de Compressão Axial e Permeabilidade

#### 3.5.1 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

O ensaio de compressão axial simples foi realizado segundo as recomendações da ABNT NBR 5739 (2007), que prescreve uma metodologia, na qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a ABNT NBR

5738 (2015). Utilizou-se 4 corpos de prova cilíndricos para cada traço, que foram ensaiados aos 7, 14 e 28 dias de cura. Após o procedimento, realizou-se a determinação da resistência à compressão axial simples, dividindo-se o valor da força aplicada pela área do corpo de prova rompido, conforme a Equação 2, a seguir, retirada da ABNT NBR 5739 (2007).

$$f_c = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2)$$

Onde:

$f_c$ : resistência à compressão, em Megapascal;

F: força máxima alcançada, em Newtons;

d: diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros.

### 3.5.2 Ensaio de Permeabilidade

Segundo a ABNT NBR 16416 (2015), o coeficiente de permeabilidade pode ser previamente avaliado em laboratório, podendo ensaiar apenas a camada de revestimento ou em campo, juntamente com toda estrutura do pavimento. A Tabela 3 resume as considerações para a determinação do coeficiente de permeabilidade em campo e em laboratório. Nesta pesquisa foi avaliado apenas o 1º caso.

**Tabela 3. Determinação do coeficiente de permeabilidade ABNT NBR 16416 (2015)**

Tipo de revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade (m/s)
	Local de Avaliação		
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	ANEXO A		
Peça de concreto permeável		ANEXO A	$> 10^{-3}$
Placa de concreto permeável	ABNT NBR 13292 OU ANEXO A		
Concreto permeável moldado no local			

Para o ensaio de permeabilidade do concreto, tomou-se como base o ensaio descrito na ABNT NBR 16416 (2015). Basicamente, o corpo-de-prova cilíndrico foi envolto em uma membrana de látex e inserido no interior de permeâmetro de carga variável (Figura 5). Após a instalação, o circuito foi aberto permitindo-se a passagem de água através da amostra de concreto permeável até o dreno, saturando-a e garantindo a retirada do ar. Em seguida, o circuito foi fechado através de uma válvula, mantendo-se o nível entre a superfície da amostra e o dreno do permeâmetro. Aplicou-se uma coluna d'água de 400 mm devido à capacidade do permeâmetro, e a válvula foi novamente aberta, registrando-se o tempo para a coluna d'água descer até 100 mm da superfície da amostra. O procedimento é repetido três vezes para cada corpo de prova e considera-se o tempo médio. O coeficiente de permeabilidade é determinado de acordo com a Lei de Darcy descrita a seguir pela Equação 3:

$$k = \frac{A_1 l}{A_2 t} \log \left( \frac{h_f}{h_i} \right) \quad (3)$$

Onde:

$K$  = coeficiente de Permeabilidade, em (cm/s);

$A_1$  = área da sessão da amostra, em (cm<sup>2</sup>);

$A_2$  = área do tubo, em (cm<sup>2</sup>);

$l$  = comprimento da amostra, em (cm);

$t$  = tempo médio, em (s);

$h_i$  = altura inicial, em (cm);

$h_f$  = altura final, em (cm).



Figura 5. Ensaio de permeabilidade do concreto

## 4. Resultados Obtidos

### 4.1 Características Físicas dos Agregados

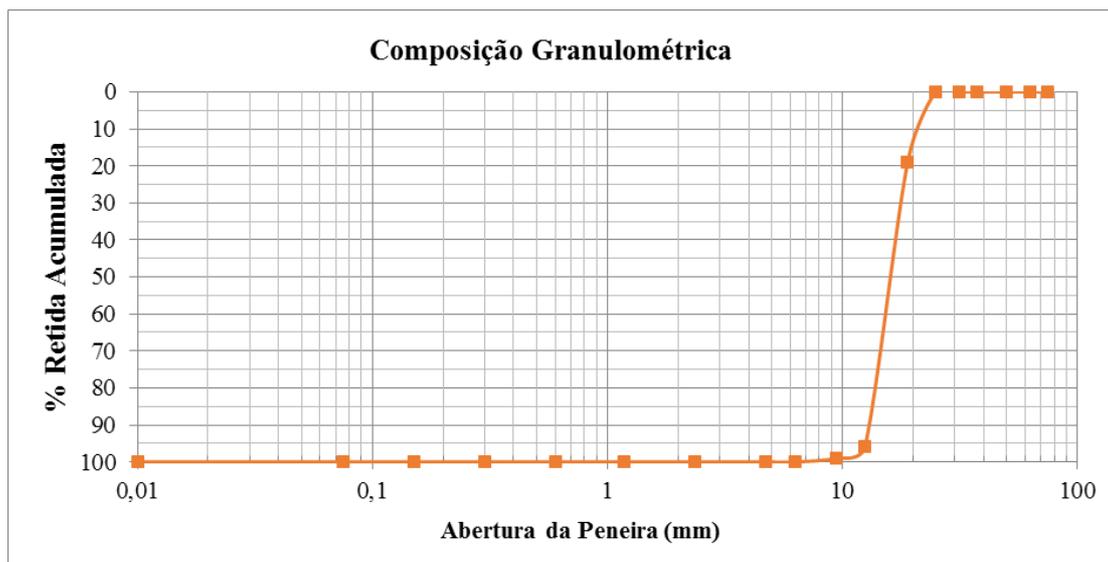
A partir do ensaio de granulometria verificou-se o comportamento de graduação uniforme do seixo utilizado nesta pesquisa. Foi encontrado um valor de 7,15 para o módulo de finura (que é calculado a partir da soma das percentagens cumulativas mantidas em cada peneira padrão, divididas por 100) e a dimensão máxima obtida foi de 25 mm. O Gráfico da Figura 6 ilustra a curva de distribuição granulométrica do seixo, onde pode ser verificado que é predominante a granulometria entre 19 mm e 12,50 mm, estando o agregado enquadrado na zona superior, conforme o estabelecido pela ABNT NBR 7211 (2009). Para a produção dos corpos de prova do concreto permeável, no entanto, utilizou-se o peneiramento do seixo para obtenção de um diâmetro fixo de 12,5mm. Este diâmetro corresponde ao material retido na peneira de 12,5 mm e optou-se por utilizar essa granulometria fixa devido aos bons resultados obtidos por autores como Botteon (2017), que utilizando uma dimensão do agregado graúdo uniforme, conseguiu aumentar o grau de permeabilidade do concreto.

A Tabela 4 apresenta os valores encontrados para a massa específica e massa unitária do agregado graúdo.

**Tabela 4. Massa unitária e específica do seixo**

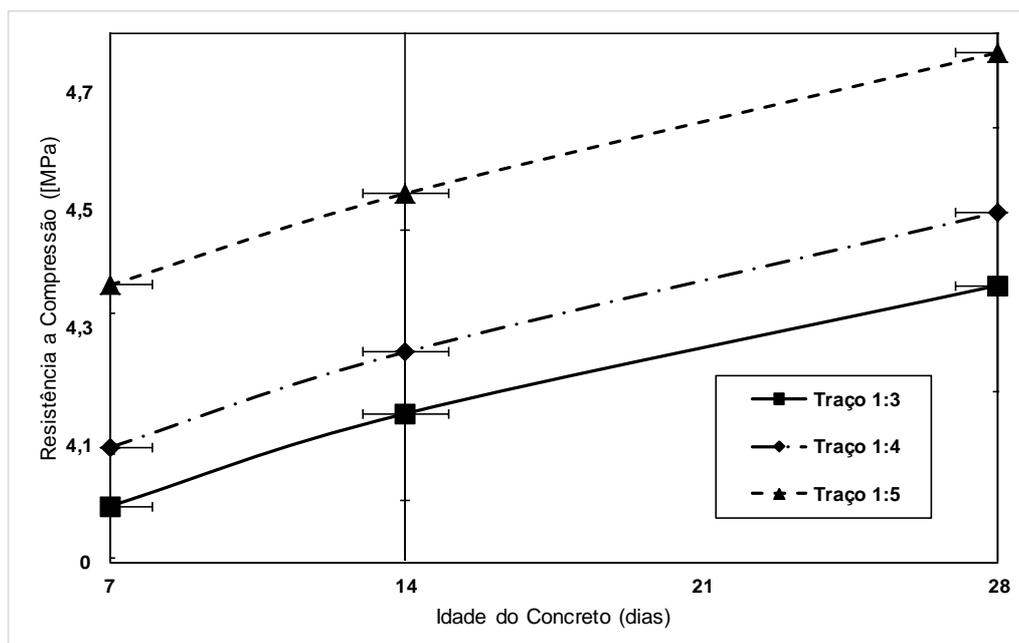
Grandeza	Valor (g/cm <sup>3</sup> )
Massa unitária	1,39
Massa específica	2,61

O índice de vazios encontrado foi de 47%, demonstrando que este é um compósito com alta porosidade. Segundo Bechara (2017) os vazios apresentados pelos concretos porosos devem observar o intervalo de 15% a 25%, sendo essa faixa considerada a ideal para equalizar as características drenantes às resistências mecânicas mínimas de trabalho.

**Figura 6. Gráfico da curva granulométrica do seixo**

#### 4.2 Resistência à Compressão Axial

No Gráfico da Figura 7 é possível observar a variação de resistência à compressão axial para os traços analisados de concreto permeável e o comparativo entre eles. Verifica-se que todas as composições estudadas demonstraram valores bem semelhantes, sendo que o traço M3 (1:5) foi o que apresentou melhor desempenho.



**Figura 7. Gráfico da variação de resistência à compressão axial (MPa)**

Estes resultados estão em conformidade com a literatura analisada, Pereira e Barbosa (2015); Botteon (2017) e Batezini (2013) constataram que o concreto permeável se mostra menos resistente que o concreto tradicional, apresentando valores de resistência à compressão axial variando de 4 a 28 MPa. Sales (2008) afirma que isto pode ser explicado devido às tensões máximas de compressão suportadas por uma mistura de concreto poroso dependerem do tamanho e distribuição dos grãos, da porosidade comunicante e o tipo e quantidade de aditivos usados.

Comparado aos estudos de Bechara (2017) e Mariano (2014), observa-se que o concreto produzido na presente pesquisa apresenta valores baixos para a resistência à compressão axial. Isso pode estar relacionado com as características mineralógicas do agregado graúdo, sendo que em trabalhos que utilizam brita são observados melhores resultados em comparação com as pesquisas que fazem uso de seixo, como é o caso do presente trabalho, porém com um custo muito elevado. É válido ressaltar também que os compósitos estudados apresentaram resultados dentro do limite mínimo que estabelece a ABNT NBR 16416 (2015) que é de 2MPa para uso em pavimentação de baixo tráfego.

## 4.2 Permeabilidade

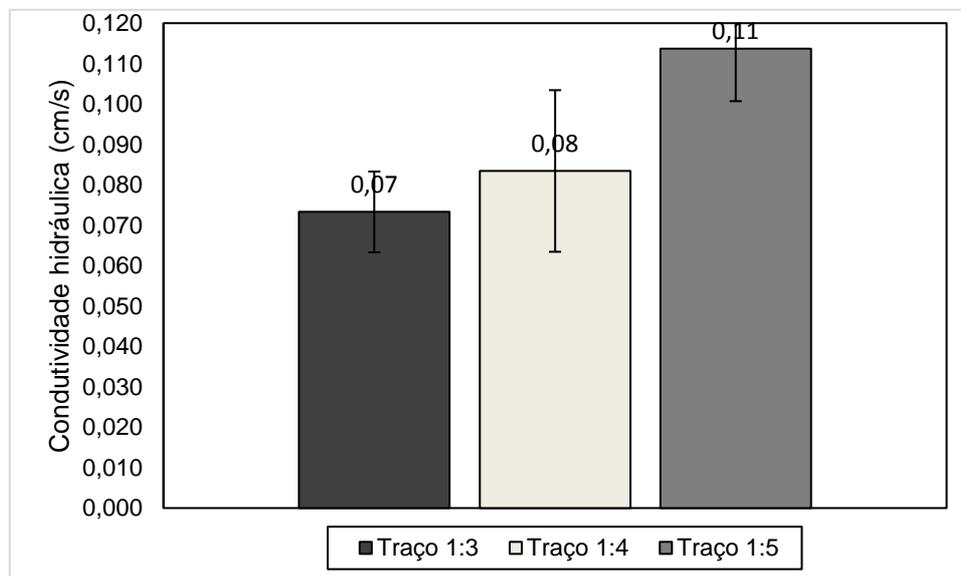
A Tabela 5 mostra os resultados obtidos a partir do ensaio realizado que determinou o índice de permeabilidade dos concretos produzidos neste estudo e o Gráfico da Figura 8 o comparativo entre os traços. Por meio da análise dos dados é possível perceber que todos os traços apresentaram um alto grau de permeabilidade, ultrapassando o limite mínimo estabelecido pela ABNT NBR 16416 (2015), que é de  $10^{-3}$  m/s. Desta forma, pode-se afirmar que os compósitos apresentaram um bom desempenho dentro dos limites estabelecidos pela norma vigente, sendo então considerados adequados quanto à sua utilização neste quesito.

Percebe-se também que, a partir da diminuição da relação água/cimento e do aumento da quantidade de seixo inserido na mistura ocorreu o crescimento do coeficiente

de permeabilidade. Estes resultados estão de acordo com a literatura pesquisada, onde foi verificado que, uma maior porosidade do material não garante uma maior permeabilidade, já que a permeabilidade é em função da área superficial vazia e do tamanho dos poros. O tamanho dos poros não é puramente produzido pelo tamanho do agregado graúdo, mas também pela espessura da pasta de cimento (ACI, 2010; TORRES, 2015).

**Tabela 5. Resultados do ensaio de permeabilidade**

C.P.	Traço	Intervalo de Tempo t (s)	Coefficiente de Permeabilidade k (m/s)	Coefficiente de Permeabilidade Médio km (m/s)	Coefficiente de Permeabilidade Médio km (cm/s)	Grau de Permeabilidade
1	1:3.	12:85.	$7,0369 \times 10^{-2}$	$7,3279 \times 10^{-2}$	0,073279	ALTA
		12:16.	$7,4362 \times 10^{-2}$			
		12:04.	$7,5104 \times 10^{-2}$			
2	1:4.	10:78.	$8,3882 \times 10^{-2}$	$8,3419 \times 10^{-2}$	0,083419	ALTA
		10:83.	$8,3494 \times 10^{-2}$			
		10:91.	$8,2882 \times 10^{-2}$			
3	1:5.	7:94.	$1,1388 \times 10^{-1}$	$1,1369 \times 10^{-1}$	0,11369	ALTA
		7:99.	$1,1317 \times 10^{-1}$			
		7:93.	$1,1402 \times 10^{-1}$			



**Figura 8. Gráfico resultado da permeabilidade aos 28 dias**

## 5. Conclusão

A falta de drenagem eficiente aliada à impermeabilização urbana causa sérios transtornos nos grandes centros urbanos. Uma alternativa para reverter este quadro consiste na adoção de tecnologias eficientes que permitam uma maior infiltração da água pluvial, tal como, o uso de pavimentos de concreto permo-poroso em vias públicas. Tendo em vista esta



realidade, este trabalho buscou por meio de uma pesquisa exploratória, produzir um concreto permo-poroso a fim de identificar as possíveis vantagens advindas da utilização desse compósito em relação ao concreto convencional. Também se identifica neste trabalho a influência do uso de uma granulometria uniforme do agregado graúdo no desempenho final deste compósito.

A partir dos ensaios realizados constatou-se que, todos os traços produzidos (M1, M2 e M3) apresentaram resultados para compressão axial simples, dentro do exigido pela ABNT NBR 16416 (2015) que é de no mínimo 2 MPa para tráfego leve.

Verificou-se que a granulometria uniforme faz com que a resistência mecânica do concreto seja reduzida. Em contra partida, contribui para aumentar o coeficiente de permeabilidade. Todos os traços produzidos neste trabalho atingiram um alto grau de permeabilidade. No entanto, para que este concreto apresentasse um melhor desempenho estrutural seria necessária a incorporação de aditivos ou adições.

Entre os três traços estudados, observou-se que a composição que obteve o melhor desempenho para a resistência à compressão axial foi o de (1:5). No que diz respeito à permeabilidade do concreto, todas as composições apresentaram resultados satisfatórios, estando de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 16416 (2015).

O concreto permo-poroso produzido nesta pesquisa ainda precisa de mais estudos sobre suas propriedades. Todavia, pelos testes feitos verificou-se que este material poderia ser empregado em pisos de baixo tráfego como estacionamento, passeios e praças, permitindo a percolação da água da chuva e contribuindo, desta forma, para diminuir o problema das enchentes nas vias urbanas.

## 6. Referências

- Alencar, P.C.D. (2013) "Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Alves, P. B. (2016) "Concreto permeável para pavimentação urbana com uso de resíduos de construção e demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, UNESP, Campus Ilha Solteira.
- AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. (2017) "Stormwater management with pervious concrete pavement", Concrete Information, Skokis.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP (2017) "Guia Básico de Utilização do Cimento Portland", São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45 (2006) "Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios", Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53 (2009) "Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água", Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248 (2003) "Agregados - Determinação da composição granulométrica", Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 (2015)



- "Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova", Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 (2007) "Concreto – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico", Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 (2009) "Agregados para Concreto", Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416 (2015) "Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos", Rio de Janeiro.
- Batezini, R. (2013) "Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves", Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Bechara, L. A. C. (2017) "Concreto poroso como revestimento de pavimento permeável: alternativa de drenagem urbana não estrutural à região metropolitana de Belém" Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA.
- Botteon, L. M. (2017) "Desenvolvimento e Caracterização de Concreto Permeável para Utilização em Blocos Intertravados para Estacionamentos", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Chaves, P. S e Moreira, V. A. (2015) "Estudo Experimental de Dosagem de Concreto Poroso para pavimentos permeáveis na região metropolitana de Belém", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém-PA.
- Danciguer, G. M. e Reis, E. A. P. (2016) "Pavimento Permeável Aplicado em Área Urbana, como Medida de Escoamento da Água da Chuva", Encontro de Iniciação Científica – ETIC.
- Gartland, L. (2008) "Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas", 1ª ed. Oficina de textos, São Paulo.
- Holtz, F. C. (2011) "Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharias.
- Kim, H. K. e Lee, H. K. (2010) "Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete", Applied Acoustics, V. 71, Issue 7, July, Pages 607–615.
- Martins, R. M. (2015) "Análise da Capacidade de Infiltração do Pavimento Intertravado de Concreto". Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- Mariano, R. H. (2014) "Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Mazzonetto, C. (2011) "Concreto permeável: Alternativa para aumentar a permeabilidade de pavimentos submetidos a cargas reduzidas, sistema demanda cuidados de especificação, instalação e manutenção", <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoestecnicas/13/artigo254488-1.aspx>, Setembro.



- Mehta, P. K. e Monteiro, P. J. M. (2008) "Concrete, Microstructure, Properties and Materials" São Paulo: Ibracon, p. 674.
- Melbourne, W. (2012) "Porous Paving: Design Details", [http://wsud.melbournewater.com.au/content/treatment\\_measures/porous\\_paving/design\\_details.asp](http://wsud.melbournewater.com.au/content/treatment_measures/porous_paving/design_details.asp), Novembro.
- Monteiro, A. C. N. (2010) "Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Schwetz, P. F., Lorenzi, A., Silva, L. C. P., Ferreira, L. Z. (2015) "Concreto permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve", <https://www.researchgate.net/publication/279513221>, Dezembro.
- Oliveira, T. D., Sala, L. G., Krug, L. F., Bressam, G. S. C., Oliveira, D. D., Dessuy, T. Y. (2017) "Prevenção de enchentes urbanas: uma alternativa sustentável através do uso do concreto permeável", Salão do Conhecimento, UNIJUI.
- Tavares, L. M. e Kazmierczak, C. S. (2016) "Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis", Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v. 9, n. 1, p. 75-89.
- Tennis, P. D., Leming, M. L. e Akers, D. J. (2004) "Pervious Concrete Pavements". EB302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, e National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA, p. 36.
- Tucci, C. E. (2012) "Gestão da drenagem Urbana", Cepal, Escritório no Brasil, IPEA.