

Pavimentos permeáveis em regiões urbanas

*José Renato Miranda Morais Garcia
Rony Rogério Paulino da Costa
Suymara Toledo Miranda
Tairine Cristine Bertola Cruz
Fernando Henrique Fagundes Gomes
Emanuel Bomtempo Matos
Israel Iasbik
Deysiane Antunes Barroso Damasceno
Romulo Stefani Filho*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.70.8

RESUMO

A impermeabilização do solo é uma característica dos centros urbanos, que retira a capacidade do solo em absorver água, causando enchentes e inundações. Para sanar esses problemas tem-se feito o uso de novas técnicas construtivas e uma das opções é o concreto permeável. Trata-se de um material com um índice elevado de poros e possibilita a percolação da água, para uma eventual drenagem. Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, apresentar o concreto permeável como um possível material a ser utilizado em pavimentos, descrever suas características, tipos de aplicação, vantagens e desvantagens. Pode-se observar que o concreto permeável reduz efetivamente os impactos ambientais negativos associados a pavimentos impermeáveis, como poluição de águas pluviais, ilhas de calor, erosão do solo, ruído do tráfego, barreiras acústicas e alagamentos, sendo considerado um material promissor para ser utilizado no Brasil.

Palavras-chave: concreto permeável. gestão de águas pluviais. pavimento sustentável.

ABSTRACT

Soil waterproofing is a characteristic of urban centers, which removes the soil's ability to absorb water, causing floods and floods. To remedy these problems, new construction techniques have been used and one of the options is permeable concrete. It is a material with a high index of pores and allows water to percolate, for eventual drainage. In this context, this work aims, from a bibliographic review, to present permeable concrete as a possible material to be used in pavements, to describe its characteristics, types of application, advantages and disadvantages. It can be seen that the permeable concrete effectively reduces the negative environmental impacts associated with impermeable pavements, such as rainwater pollution, heat islands, soil erosion, traffic noise, acoustic barriers and flooding, being considered a promising material to be used in Brazil.

Keywords: permeable concrete. rainwater management. sustainable pavement.

INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo é uma característica dos centros urbanos, realizada para melhoria na qualidade das edificações e facilidade de acesso. Porém, esse procedimento retira a capacidade do solo em absorver água, causando enchentes, inundações e contribui para produção de ilhas térmicas urbanas.

Uma das possíveis soluções para a diminuição de inundações, diminuição do escoamento superficial e dos alagamentos é o uso do concreto permeável como pavimento.

O concreto permeável é um material de pavimentação caracterizado por uma estrutura porosa que permite que a água se infiltre através dele, apresentando inúmeros benefícios ambientais: auxilia na diminuição de enxurradas e enchentes, reduz e elimina a necessidade de tanques de retenção, possibilita a reutilização da chuva, além de reduzir o custo do tratamento de água pluvial. Porém, o concreto permeável não suporta cargas muito elevadas, além da possibilidade de óleos e outros materiais contaminantes poderem penetrar no pavimento e contami-

nar o solo.

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, apresentar o concreto permeável como um possível material a ser utilizado em pavimentos, descrever suas características, tipos de aplicação, vantagens e desvantagens e estudos atuais sobre o tema.

No Brasil a tecnologia ainda não é popularizada e visando a sustentabilidade que poderá ser alcançada, mais estudos deverão ser realizados para sua implementação. O processo de mudança pode ser demorado, porém necessário em um futuro próximo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Drenagem urbana – impactos da impermeabilização do solo

A drenagem urbana é um fator importante nas estradas e pavimentos, visa diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilita o desenvolvimento urbano de forma sustentável. Quando a drenagem é projetada ou implementada incorretamente, cria poças de água, cuja presença pode causar muitos efeitos indesejáveis (CHMIELEWSKI *et al.*, 2016).

A impermeabilização de diversas áreas 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. De acordo com Tucci (2012), o escoamento aumenta o desgaste de condutores e canos, afetando o ciclo hidrológico, causando um aumento de até seis vezes o tamanho das bacias urbanizadas em relação às bacias naturais.

O que é o concreto permeável – contexto histórico

Nos anos 1945- 1950 se desenvolveu o concreto permeável na França. O concreto asfáltico da época, ligado ao excesso de vazios, não teve êxito como primeira experiência, já que não sustentou as ligações das estruturas. Somente após duas décadas que países como a própria França, os Estados Unidos, o Japão e a Suécia, voltaram a pesquisar sobre esse tipo de material (FINOCCHIARO e GIRARDI, 2017).

O concreto permeável começou a ser fabricado em 1980, sendo considerado um novo material de pavimentação caracterizado por uma estrutura porosa permitindo que a água se infiltre através dele, com inúmeros benefícios ambientais (BONICELLI *et al.*, 2016; COUTINHO *et al.*, 2016; SHAFIQUE *et al.*, 2018), e vem sendo cada vez mais utilizado como alternativa ecológica aos pavimentos impermeáveis tradicionais (HEIN *et al.*, 2013). Os concretos permeáveis fazem parte de uma abordagem sustentável de drenagem em que o excesso de água superficial é estimulado a se infiltrar em sua estrutura, durante a qual elementos potencialmente tóxicos, como metais e hidrocarbonetos, são tratados por biodegradação, aprisionamento físico e armazenamento (CHARLESWORTH *et al.*, 2017).

O concreto permeável é apresentado na NBR 16416-2015 (ABNT, 2015), que entrou em vigor em seis de setembro de 2015, estabelecendo requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto, moldados no local

ou construídos com revestimentos de peças de concreto intertravadas e placas de concreto. Esta norma define que os pavimentos permeáveis devem permitir a percolação (passagem de água por um material permeável) de 100% da água total precipitada incidente sobre esta área, bem como a totalidade da precipitação sobre as áreas de contribuição consideradas no projeto.

Características do concreto permeável

Os sistemas de concreto permeável reduzem efetivamente os impactos ambientais negativos associados a pavimentos impermeáveis, incluindo poluição de águas pluviais, ruído do tráfego, ilhas de calor, erosão do solo (HEIN *et al.*, 2013), barreiras acústicas e neblina (Fig. 1) (CHMIELEWSKI *et al.*, 2016).

Figura 1- Dupla camada de pavimento poroso em estrada na Suécia – tempo chuvoso sem neblina característica atrás dos veículos.



Fonte: Chmielewski et al. (2016)

A sua adoção também contribui para a manutenção dos aquíferos subterrâneos, redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial dessas águas (COSTA *et al.*, 2019), diminui o risco e o número de acidentes, removendo a película de água da estrada (CHMIELEWSKI *et al.*, 2016) e desenvolvem temperaturas menores em sua superfície quando comparados aos pavimentos de concreto convencional e pavimentos asfálticos (COSTA *et al.*, 2019).

O concreto permeável é importante na eliminação de problemas ambientais e urbanos enfrentados com a impermeabilização do solo. Essas estruturas são pouco utilizadas no Brasil para o gerenciamento de águas pluviais, considerado um dos grandes problemas hidrológicos em muitas cidades do país, com taxas crescentes de urbanização (COUTINHO *et al.*, 2016).

Sua característica de alta drenabilidade geralmente não correspondem à alta resistência e boas condições de superfície quando submetidas ao tráfego de veículos. Até o momento, as aplicações de concreto permeável são limitadas a determinadas áreas urbanas, além do projeto de mistura e os padrões de construção ainda não estarem bem definidos (BONICELLI *et al.*, 2016).

No estudo realizado por Costa *et al.* (2019), um concreto permo-poroso foi produzido para identificar as possíveis vantagens advindas da utilização desse composto em pavimentos urbanos de baixo tráfego. Os resultados obtidos demonstraram que o limite mínimo de compressão axial estabelecido pela NBR 16416 (ABNT, 2015) para utilização em pavimentos de baixo

tráfego foi alcançado, que é de 2 MPa, permitindo ser empregado em estacionamentos, passeios e praças.

Propriedades do concreto permeável

O projeto de concreto permeável está estritamente relacionado à sua utilização final, aos tipos de carga que são aplicadas no pavimento e às necessidades ecológicas do ambiente (BONICELLI *et al.*, 2016), variando de acordo com o comportamento hidrológico dos elementos do solo (COUTINHO *et al.*, 2016) e com o tipo de solo nativo subjacente. Isso ocorre porque o solo nativo possui maiores taxas de infiltração, sendo capaz de absorver grande parte do escoamento pluvial e evitando o encharcamento da superfície do pavimento (SHAFIQUE *et al.*, 2018).

A porosidade de misturas de concreto permeável pode ser crítica para seu desempenho e é um parâmetro comumente medido. Apesar da região dos 25mm superiores aparentarem ter maior porosidade, em algumas amostras evidências de porosidade foram encontradas até 100mm abaixo da superfície (MARTIN e PUTMAN, 2016).

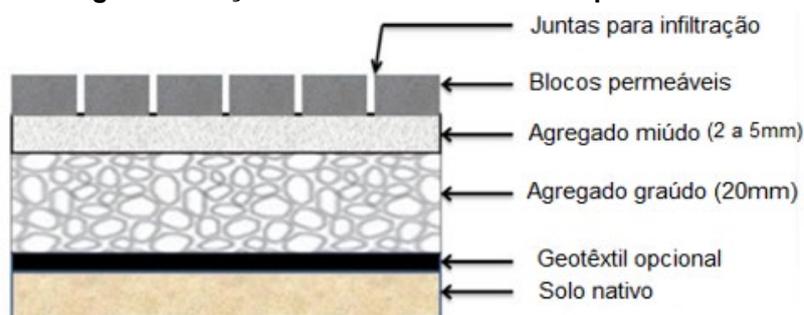
Uma superfície porosa bem desenhada, fabricada e com as devidas manutenções é capaz de resistir aos períodos cíclicos de temperatura (CHMIELEWSKI *et al.*, 2016). A massa do sedimento fino (partículas menores que 38 μm) é um fator de influência importante. (KAYHANIAN *et al.*, 2012).

A padronização de misturas do concreto permeável para todos os países é indevida, devendo ser determinada de acordo com o clima (CHMIELEWSKI *et al.*, 2016).

Materiais utilizados

De acordo com Costa *et al.* (2019), o concreto permeável é composto por ligante hidráulico, material britado de graduação uniforme, água e pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo (Fig. 2). 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.

Figura 2 - Seção transversal do concreto permeável.



Fonte: Shafique *et al.* (2018)

A mistura deve ser cuidadosamente analisada e uma série de ações devem ser tomadas, para reunir informações sobre seu comportamento em condições adequadas (CHMIELEWSKI *et al.*, 2016). Não existe uma mistura ótima em termos absolutos, e o projeto deve abranger sobre a energia de compactação. Um estudo de campo para a definição da correspondência entre o laboratório e a compactação *in situ* é sugerido (BONICELLI *et al.*, 2016).

Para os vazios interligados entre si, característicos do concreto permeável, um dos métodos para obtenção de sua configuração é a de substituir o agregado miúdo (areia) por cimento, água e agregado graúdo (brita, agregado graúdo de demolição ou/e de construção, cascalho), apresentando praticamente nenhuma quantidade de finos na mistura (FINOCCHIARO e GIRARDI, 2017).

Alguns estudos compararam diferentes proporções dos materiais utilizados. Coutinho *et al.* (2016) concluíram que os vazios devem ser preenchidos com solos o mais permeáveis possíveis e solos finos, com baixa permeabilidade, devem ser evitados. Costa *et al.* (2019) concluíram que a composição que obteve o melhor desempenho nos ensaios mecânicos e de condutividade hidráulica realizados em relação à proporção de cimento / agregado graúdo em massa foi o de 1:5. Shen *et al.* (2008) testaram o asfalto poroso confeccionado com agregado sintético leve granulado (GSLA) e observaram que o mesmo exibe um bom formato de partícula, com menor gravidade específica, maior solidez e maior absorção de água do que a brita convencional, sendo a mistura de 15% de substituição de GSLA a mais adequada.

Tipos de concreto permeáveis

Os pavimentos permeáveis de concreto podem ser executados com as tipologias de: peças de concreto com juntas alargadas ou com áreas vazadas, peças de concreto permeável, placas de concreto permeável e concreto permeável moldado no local (Fig. 3) (FINOCCHIARO e GIRARDI, 2017). De acordo com a NBR 16416-2015 (ABNT, 2015), as placas de concreto permeável, de acordo com esta norma são componentes pré-moldados de concreto em que a água infiltra pela própria placa e não pelas juntas. Além das placas, outro tipo de pavimento são os blocos, que se comportam de forma semelhante, porém com intertravamento e com menores dimensões. Os concretos permeáveis mais porosos necessitam de mais cimento, quase sem agregados miúdos e água na composição.

Figura 3 - Tipologia de revestimentos.



Fonte: Nigri (2017).

Manutenção dos pavimentos que utilizam o concreto permeável

Manter os pavimentos de concreto permeável viáveis requer a manutenção de sua capacidade de infiltrar água. Sua natureza porosa faz com que sólidos, como partículas de solo e matéria orgânica transportada pelo escoamento superficial, fiquem presos na superfície ao longo do tempo, diminuindo gradualmente a taxa de infiltração. O pavimento, se não receber manutenção necessária, ficará cada vez mais obstruído (SHAFIQUE *et al.*, 2018).

Benefícios sustentáveis dessas estruturas simples devem ser monitorados para garantir sua viabilidade, além de mostrar que pavimentos permeáveis podem ser facilmente mantidos por meio de uma manutenção de rotina economicamente viável.

Hein; Dougherty; Hobbs(2013) estudaram a eficácia do sopro elétrico, lavagem por pressão e aspiração (Fig. 4), bem como uma combinação desses métodos para melhorar a taxa de infiltração em pavimentos de concreto permeável de pequenas áreas. A lavagem, a pressão e a aspiração são igualmente eficazes como técnicas de limpeza inicial, ambas aumentando a taxa de infiltração da superfície em mais de 90%. Ganhos aproximadamente iguais em taxa de infiltração de superfície em concretos permeáveis podem ser obtidos por lavagem à pressão ou aspiração separadamente. A combinação de aspiração e lavagem a pressão oferece ganhos substanciais em relação a qualquer um dos métodos isoladamente. Benefícios sustentáveis dessas estruturas simples devem ser monitorados para garantir sua viabilidade, além de mostrar que pavimentos permeáveis podem ser facilmente mantidos por meio de manutenção de rotina barata.

Figura 4 - Tipos de aparelhos utilizados para manutenção do concreto permeável



Fonte: Hein et al. (2013)

Vantagens e desvantagens do concreto permeável

Vantagens

De acordo com Balbo (2020), as principais vantagens do uso do concreto permeável são:

- A. Diminuição do escoamento superficial causado pelas águas das chuvas;
- B. Diminuição do fluxo de água nos sistemas de drenagem urbana;
- C. Diminuição da quantidade de elementos drenantes dos sistemas convencionais de drenagem;
- D. Redução de erosão dos canais a jusante, muitas vezes causado pelo aumento de

- fluxo de água nos sistemas drenantes urbanos convencionais;
- E. Possível filtragem das águas percoladas pelo pavimento permeável;
 - F. Possibilidade da redução de construções de piscinões para contenção das águas das chuvas;
 - G. Ajuda no controle das ilhas de calor nos grandes centros, aumentando o albedo (quantidade de luz que é difundida ou refletida por uma superfície) e, conseqüentemente, possibilitando pavimentos mais frios;
 - H. Ajuda na captura de óxidos de nitrogênio que são lançados na atmosfera por veículos e indústrias;
 - I. Pavimento aderente para automóveis e bicicletas;
 - J. Menor armazenamento de energia na estrutura do pavimento;
 - K. Baixa condutividade térmica para as camadas subjacentes do pavimento;
 - L. Redução do consumo de energia para a iluminação viária dos pavimentos;
 - M. Conforto térmico maior próximo à superfície.

Desvantagens

Ainda segundo Balbo (2020), as principais desvantagens são:

- A. Existem vários questionamentos técnicos sobre seu emprego em vias com veículos pesados;
- B. O custo para construir o concreto permeável é oneroso se comparado com o convencional;
- C. Requer uma manutenção específica para evitar ou recuperar a permeabilidade;
- D. Superfície ásperas para pedestres;
- E. Restrições de aplicação em solos expansivos e deformáveis;
- F. Muitas variáveis que tornam a dosagem de concepção mais trabalhosa e suscetível a transporte e clima.

Experimentos utilizando pavimentos permeáveis

Fassman e Blackburn (2011) monitoraram a descarga de uma seção de teste de pavimentação de concreto permeável de 200 m² em uma inclinação atípica de 6,0 a 7,4% em uma rodovia ativa. Ela foi monitorada simultaneamente com uma via que utilizada o asfalto convencional em Auckland, Nova Zelândia. A qualidade da água subterrânea do pavimento modular permeável (PMP) apresentou concentrações médias consistentes de sólidos suspensos totais (SST), zinco e cobre menores do que o escoamento de asfalto convencional. As distribuições de concentração média de eventos variaram em apenas alguns µg/L ou mg/L de magnitude do sub-dreno do pavimento permeável para alguns parâmetros do asfalto de referência. O controle

do volume de escoamento pelo pavimento permeável contribuiu para diferenças substanciais de carga de massa de poluente. A junção do pavimento modular permeável com o material de revestimento pode evitar a maioria dos poluentes na descarga subterrânea. Uma seção de pavimento modular permeável projetada corretamente provavelmente forneceria tratamento adequado para uma área mais extensa.

Kayhanian *et al.* (2012) avaliaram a medida de permeabilidade e realizaram uma varredura de imagem para avaliar o entupimento do concreto permeável em 20 estacionamentos na Califórnia. A permeabilidade foi medida em cinco locais: a entrada principal, uma área sem tráfego e três medidas separadas dentro de uma vaga em cada estacionamento. Características hidrológicas e físicas do local, como fluxo de tráfego, erosão, cobertura vegetal, acúmulo de sedimentos, prática de manutenção, presença de rachaduras, precipitação pluvial e dados de temperatura também foram coletados para cada estacionamento. Esses dados foram usados para realizar uma análise estatística detalhada para determinar os fatores que influenciam as mudanças na permeabilidade e, portanto, avaliar a possível causa do entupimento. Além disso, sete amostras foram obtidas de quatro diferentes estacionamentos com permeabilidade variando de muito baixa a muito alta. Perfis de porosidade produzidos a partir de tomografia computadorizada foram usados para avaliar a possível natureza e extensão do entupimento. Os resultados mostraram que existe uma grande variação na permeabilidade dentro de cada estacionamento e entre diferentes estacionamentos. Em geral, a idade do estacionamento é o fator predominante que influencia a permeabilidade. A análise estatística revelou que a massa do sedimento fino (partículas menores que 38 μm) também é um fator de influência importante. Outros fatores de influência com menor significância foram o número de dias com temperatura superior a 30°C e a quantidade de vegetação próxima ao estacionamento. A análise combinada da imagem digitalizada e o perfil de porosidade mostraram que a maior parte do entupimento ocorre próximo à superfície do pavimento. Apesar da região dos 25mm superiores aparentem ter maior porosidade em áreas que utilizam o concreto permeável, a porosidade foi observada até 100mm abaixo da superfície.

Bonicelli; Arguelles; Pumajero (2016) compararam as propriedades de várias misturas de concreto permeável submetidas a diferentes energias de compactação. Diferentes porcentagens de areia e várias fibras reforçadas com várias propriedades físicas e químicas foram adicionadas às misturas, alterando a relação água / cimento e fixando a distribuição granulométrica do agregado e o teor de pasta. Testes de resistência à tração indireta, módulo de elasticidade e resistência Cântabro (propriedades de abrasão e de adesividade), foram realizados para medir o comportamento mecânico do material. Enquanto, porosidade, densidade aparente e capacidade de drenagem foram avaliados para definir as características volumétricas e funcionais. Foi observado que é possível melhorar as propriedades mecânicas do material adicionando fibras e / ou porcentagens adequadas de areia. O tipo de fibra ou a porcentagem de areia precisa ser calibrada em função da relação das misturas de água e cimento para se obter os efeitos mais favoráveis. Segundo os autores a introdução de fibras monofilamentares de polipropileno / polietileno em misturas com relação de proporção igual a 0,30 e 0,35 permitiu atingir os maiores valores de drenabilidade. Os resultados são comparáveis ao efeito da adição de 10% de areia. Além disso, a adição de 10% de areia é a mais eficaz para aumentar a resistência ao desfiamento. Por outro lado, a adição de fibras e areia geralmente leva à redução da drenabilidade devido ao aumento do volume da pasta que reduz os vazios da matriz.

Chmielewski; Duda; Zabek (2016) avaliaram a possibilidade da utilização da pavimentação asfáltica porosa de pontes rodoviárias, de acordo com a determinação do espaço livre na mistura, escoamento, sensibilidade à água, geada e perda de grãos. Eles observaram que as possibilidades de utilização de misturas asfálticas porosas em estrutura de ponte são limitadas. A análise realizada não extingue totalmente a possibilidade de utilização de pavimentos porosos em estruturas de pontes, porém se baseia apenas em ensaios laboratoriais. As entradas da ponte projetada devem estar localizadas a uma distância não inferior a 0,2 m da face do meio-fio, geralmente fora da estrada. Se for utilizada uma superfície porosa, as entradas devem ser rebaixadas em relação ao nível da superfície por sua espessura devido à permeabilidade vertical e horizontal. Em um projeto rodoviário médio, eles são reduzidos de 0,01 para 0,02 m. Presume-se que o caminho da água da chuva para o rio não deve exceder 30 m e, portanto, as distâncias entre as entradas são assumidas em 25 m. No entanto, para pavimento poroso é proposto encurtar essas distâncias de até 15 m para uma captação mais eficiente das águas pluviais e evitando a situação de gargalos nas margens das estradas.

Coutinho *et al.* (2016) realizaram a caracterização hidráulica de um pavimento permeável e avaliaram sua eficiência hidrológica do ponto de vista do processo de infiltração em uma área piloto de um estacionamento em uma área urbana em Recife-AL. Elementos de solo preenchendo os vazios entre os elementos de concreto foram amostrados (Fig. 5) (densidade de tamanho de partícula, conteúdo de água) e testados com experimentos de infiltração de água em vários pontos da área piloto de superfície de 3 m × 1,5 m. Quatro tipos principais de solos foram testados (silte, silte arenoso, areia siltosa e areia). A infiltração e evaporação da água foram modeladas para um ano tipicamente chuvoso (ano de 2011 com 3248 mm) para quantificar a infiltração de água, evaporação e escoamento gerado sobre cada tipo de solo. Os resultados mostraram que, devido às propriedades hidráulicas do solo, a estrutura de pavimento permeável deve permitir a evaporação e infiltração da água e reduzir drasticamente o escoamento de água, sendo ferramentas muito promissoras para a gestão da água em áreas urbanas e a mitigação do desenvolvimento de pavimentos impermeáveis no ciclo da água. Os autores concluíram que a capacidade do pavimento permeável de infiltrar água depende do comportamento hidrológico dos elementos do solo. Os vazios devem ser preenchidos com solos o mais permeáveis possível. Solos finos com baixa permeabilidade devem ser evitados. A compactação do solo deve permanecer razoável durante o preenchimento dos vazios entre os elementos de concreto.

Figura 5 - Concreto permeável em diferentes estágios de construção na área experimental de Recife.



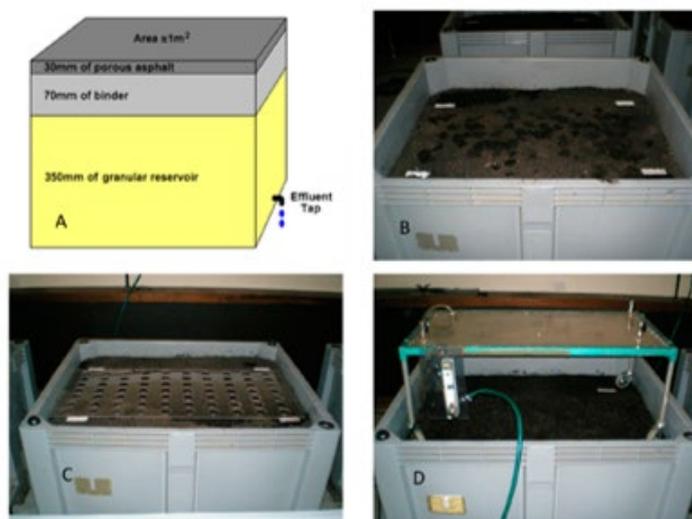
Fonte: Coutinho et al. (2016)

Martin e Putman (2016) compararam métodos para medir a porosidade de misturas do concreto permeável. Os quatro métodos testados foram Corelok, Montes *et al.*, Vácuo e métodos de análise de imagem (listados em ordem crescente de medidas de porosidade para os mesmos espécimes). Todos os quatro métodos, assim como as variações dos métodos, foram considerados estatisticamente diferentes, exceto para os métodos de análise de vácuo e imagem. O método Corelok mediu valores de porosidade mais baixos do que os métodos de Montes *et al.* e vácuo devido à forma como o volume total da amostra foi medido, embora uma vez que a diferença no volume foi contabilizada, ela caiu entre esses dois métodos. Os métodos de Montes *et al.* e Vácuo mediram porosidades semelhantes para amostras de porosidade mais alta (> 25%), mas devido à eficiência do vácuo na remoção de bolsas de ar aprisionadas em vazios menores, registrou valores de porosidade mais altos para amostras que tinham porosidade mais baixa (<25%). Segundo os autores, quando o volume de uma amostra é medido diretamente, esse volume será grande o suficiente para envolver totalmente a amostra, mesmo se a amostra for ligeiramente irregular. Isso resultaria em um volume maior do que realmente é. Quando o mesmo volume é usado para os cálculos dos métodos Corelok, Montes *et al.* e vácuo para remover essa fonte de variabilidade, as medidas de porosidade do método Corelok ficam entre as medidas dos outros dois métodos. Os autores concluíram que como a diferença nas medições de porosidade entre os métodos de Montes *et al.* e Vácuo é um resultado da eficiência de remoção de ar, a porosidade da amostra realmente afeta a relação entre os dois métodos. Para amostras com porosidade menor e, como resultado, poros e aberturas menores, o método de Vácuo é capaz de remover a maior parte do ar aprisionado, enquanto o método de Montes *et al.* não pode superar o efeito aumentado da tensão superficial. Para amostras de maior porosidade, com poros maiores, esta diferença é muito menor e os dois métodos produzem resultados quase idênticos.

Charlesworth *et al.* (2017) avaliaram através de testes em laboratório os poluentes no asfalto poroso para investigar seu potencial no meio ambiente. Um m³ de concreto permeável (Fig. 6) foi monitorado por 38 meses após a aplicação de adições mensais de sedimento rodoviário (367,5 g no total) e óleo não utilizado (430 mL no total), característico de carregamentos urbanos. Um simulador de chuva de 15 mm/h foi utilizado. A qualidade da água do efluente descarregada

da plataforma foi considerada adequada para descarte na maioria dos ambientes. Após a conclusão do monitoramento, um núcleo foi retirado através de sua superfície e amostras de sedimento e agregado foram coletadas. A análise mostrou que a maior parte do sedimento permaneceu no curso da superfície, com níveis de metais inferiores ao sedimento rodoviário original, mas superiores ao agregado limpo não utilizado ou ao concreto permeável. Após três anos de monitoramento dos modelos de concreto permeável com simulação de fortes tempestades, a capacidade de retenção de poluentes não foi excedida em mais de 90%. Os resultados mostram que os poluentes adicionados à superfície da plataforma de teste estavam sendo efetivamente capturados e tratados dentro das estruturas. Isso fez com que as concentrações de metais pesados nos efluentes permanecessem abaixo dos níveis. Mais de 99% do óleo adicionado aos modelos de teste foi capturado e potencialmente degradado pelos microrganismos presentes nos modelos.

Figura 6 - Bancada de teste com o simulador de chuva utilizado durante o monitoramento.



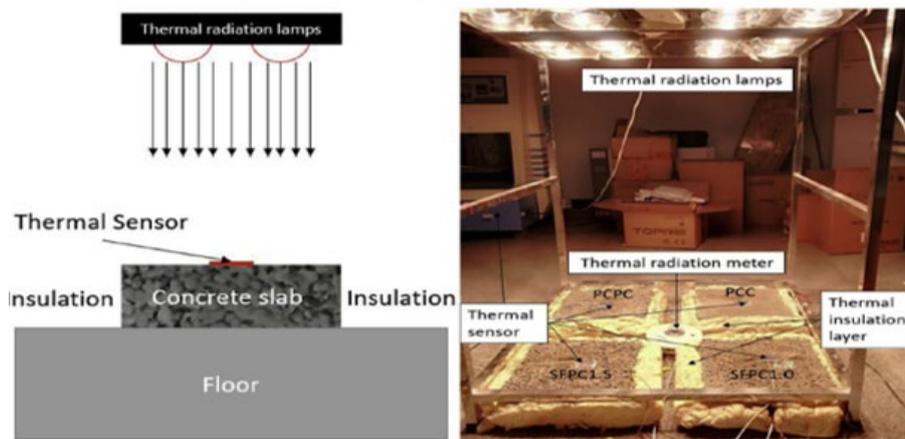
Fonte: Charlesworth et al. (2017)

Shafique; Kim; Kyung-HO (2018) avaliaram o desempenho do concreto permeável em chuvas em uma região urbana extremamente desenvolvida de Seul, Coréia, e os dados foram monitorados para avaliar seu efeito na hidrologia e no desempenho da qualidade das águas pluviais por quatro meses. O escoamento da chuva foi primeiro absorvido por diferentes camadas do sistema e, em seguida, foi direcionado para o sistema de esgoto. Diferentes eventos reais de chuva foram observados. A partir da análise dos dados, os resultados mostraram que o pavimento de concreto intertravado permeável foi muito eficaz no controle do escoamento pluvial. O desempenho geral de redução do escoamento foi encontrado em cerca de 30–65% durante vários eventos de tempestade. Isso não apenas diminuiu o volume de escoamento da chuva, mas também a vazão de pico.

Chen *et al.* (2019) investigaram o potencial utilização do concreto permeável de alta condutividade para aliviar o efeito das ilhas de calor urbanas em condições secas e úmidas. O concreto permeável de alta condutividade foi preparado adicionando fibras de aço ao concreto permeável tradicional. Testes de laboratório (Fig. 7) foram conduzidos para calcular a condutividade térmica do concreto permeável utilizando termômetros e modelos de transferência térmica. Os resultados mostraram que o concreto permeável apresenta a temperatura superficial mais elevada do que o concreto convencional na condição seca, mas temperaturas de superfície semelhantes ou menores na condição úmida, dependendo da taxa de evaporação da água. O

pico de temperatura superficial do concreto permeável de alta condutividade foi de 1–3 °C mais baixo do que o concreto permeável convencional devido à alta condução térmica. Os resultados da simulação do ambiente externo mostraram que o pavimento de concreto permeável causou uma saída de calor ligeiramente maior em dias ensolarados, mas uma saída de calor muito menor em dias chuvosos para o ambiente próximo à superfície, em comparação com o pavimento de concreto convencional. O aumento da condutividade térmica do pavimento permeável pode reduzir ainda mais a produção de calor em 2,5–5,2%. Os autores concluíram que o concreto permeável de alta condutividade é um método eficaz para aliviar o efeito das ilhas de calor urbanas em condições secas e úmidas.

Figura 7 - Configuração do experimento



Fonte: Chen et al. (2019)

Costa *et al.* (2019) avaliaram a viabilidade técnica da utilização do concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional na Região Metropolitana de Belém. A composição dos três traços avaliados foi determinada através das literaturas existentes sobre o tema. Dessa forma, foram incluídos: traços com granulometria fixa em 12,5 mm para o seixo; traços variando de 1:3 a 1:6 e no que diz respeito à relação água/cimento; e traços (1:3), (1:4) e (1:5) - (cimento/agregado graúdo em massa). Não se utilizou agregado miúdo neste trabalho. 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. Entre os três traços estudados observou-se que a composição que obteve o melhor desempenho nos ensaios mecânicos e de condutividade hidráulica realizados em relação à proporção de cimento / agregado graúdo em massa foi o de 1:5. Todas as composições apresentaram desempenho satisfatório de permeabilidade, estando de acordo com o estabelecido pela referida norma. 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. Os resultados obtidos demonstraram que todos os traços produzidos alcançaram o limite mínimo de compressão axial estabelecido pela NBR 16416 (ABNT, 2015) para utilização em pavimentos de baixo tráfego.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa maneira, conclui-se que o concreto permeável é um material promissor para ser utilizado no Brasil, reduzindo drasticamente os efeitos da urbanização, como escoamento de águas da chuva, alagamentos, poluição dos rios e fontes de abastecimento, ilhas de calor, ruídos

do tráfego, acidentes, entre outros.

No entanto, mais estudos devem ser realizados para sua implementação dentro do Brasil, visto que uma série de fatores deve ser levada em consideração, como tipo de solo e clima, para uma proporção correta de seus componentes e efetividade satisfatória. Antes de sua instalação deve ser muito bem planejado para que apresente maior durabilidade e período de vida útil.

REFERÊNCIAS

BALBO, J. T. Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BONICELLI, A.; ARGUELLES, G.A.; PUMAREJO, L.G.F. Improving pervious concrete pavements for achieving more sustainable urban roads. *Procedia Engineering*. 2016; 161, p: 1568-1573.

CHARLESWORTH, S.M.; BEDDOW, J.; NNADI, E.O. The Fate of Pollutants in Porous Asphalt Pavements, Laboratory Experiments to Investigate Their Potential to Impact Environmental Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017; 14, 666.

CHEN, J.; CHU, R.; WANG, H.; ZHANG, L.; CHEN, X.; DU, Y. Alleviating urban heat island effect using high-conductivity permeable concrete pavement. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 237: 1-12.

CHMIELEWSKI, R.; DUDA, K.; ZABEK, O. Analiza możliwości zastosowania mieszanek mineralno – asfalta wych porowatych nawierzchni nachobiektów mostowych. *Biuletyn WAT*. 2016; Vol. LXV, n.3.

COSTA, M.C.B.; SILVA, L.S.; NOGUEIRA, M.H.P.; LIMA, G.K.M.; BATISTA N.J.S. Estudo da viabilidade técnica do uso de concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional. *Revista de Ciência e Tecnologia*. 2019; v.5, n.8.

COUTINHO, A.P.; LASSABATERE, L.; MONTENEGRO, S.; ANTONINO, A.C.D.; ÂNGULO-JARAMILLO, R.; CABRAL, J.J.S.P. Hydraulic characterization and hydrological behaviour of a pilot permeable pavement in an urban centre. Brazil. *Hydrol. Process*. 2016; 30, 4242–4254.

FASSMAN, E.A.; BLACKBOURN, S.D. Road Runoff Water-Quality Mitigation by Permeable Modular Concrete Pavers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2011; vol. 137, n.11.

FINOCCHIARO, P.S; GIRARDI, G. Concreto permeável produzido com agregado reciclado. *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana*. 2017; n. 5: pp. 19-26.

HEIN, M.F.; DOUGHERTY, M.; HOBBS, T. Cleaning Methods for Pervious Concrete Pavements. *International Journal of Construction Education and Research*. 2013; 9:2, 102-116.

KAYHANIAN, M.; ANDERSON, D.; HARVEY, J.T.; JONES, D.; MUHUNTHAN, B. Permeability measurement and scan imaging to assess clogging of pervious concrete pavements in parking lots. *Journal of Environmental Management*. 2012; 95, 114-123.

MARTIN, W.D.; PUTMAN, B.J. Comparison of methods for measuring porosity of porous paving mixtures. *Construction and Building Materials*. 2016; 125: 299–305.

NIGRI, IR. Pavimento Concreto Permeável.: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.

SHAFIQUE, M.; KIM, R.; KYUNG-HO, K. Rainfall Runoff Mitigation by Retrofitted Permeable Pavement in an Urban Area. *Sustainability*. 2018; 10, 1231: 1-10.

SHEN, D.H.; WU, C.M.; DU, J.C. Performance evaluation of porous asphalt with granulated synthetic lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*. 2008; 22: 902–910.

TUCCI, C.E. "Gestão da drenagem Urbana", Cepal, Escritório no Brasil, IPEA. 2012.