



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

Condutividade hidráulica de superfícies permeáveis: cálculo do coeficiente de permeabilidade em amostras de revestimentos drenantes executados com concreto poroso

Elias Riffel
Professor, Me - UNIFEBE

Alexandre Maines
Professor, Dr - UNIFEBE

Adriano Oliari
Acadêmico de Engenharia Civil - UNIFEBE

Resumo: O Brasil criou nas últimas décadas a partir de um crescente processo de organização, planejamento e regulação, diversas diretrizes sob a forma de políticas públicas com força de lei, como a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA - Lei Federal nº 6938). Nos últimos anos, as políticas de sustentabilidade ambiental em diferentes contextos sociais levaram a implantação de novos processos e técnicas que conduziram a uma gestão mais efetiva dos recursos naturais e econômicos. Neste contexto, o estudo aborda a estratégia da infraestrutura sustentável por meio do pavimento permeável de concreto, como forma de mitigação da impermeabilização das superfícies urbanas ao reduzir o escoamento superficial e permitir a percolação das águas pluviais por meio da camada drenante do revestimento executado em concreto poroso. A metodologia foi delineada por uma pesquisa experimental que abordou o estudo de três tipologias de pavimentos permeáveis para análise do coeficiente de permeabilidade (k) medido em m/s. Os ensaios foram compostos por amostras de *paver* drenante, placa drenante e segmento de pavimento drenante, ambos com espessura de 6 cm. Para realização dos ensaios foi construído uma mesa hidráulica constituída de uma grelha em aço mecânico liso para apoio dos corpos de prova (conjunto amostral) e uma calha metálica para retenção e reaproveitamento da água utilizada durante a execução dos ensaios realizados em laboratório. Os resultados apresentaram melhor eficiência hidráulica de percolação para o segmento de pavimento drenante, contudo, não agregando melhor desempenho como condição de superfície para mobilidade.

Palavras-chave: Pavimento permeável, Concreto poroso, Drenagem urbana.

Hydraulic conductivity of permeable surfaces: the effectiveness of permeability in samples of draining surfaces executed with porous concrete

Abstract: Brazil created in the last decades, from a growing process of organization, planning and regulation, several guidelines in the form of public policies with the force of law, such as the National Environmental Policy (PNMA - Federal Law nº 6938). In recent years, environmental sustainability policies in different social contexts have led to the implementation of new processes and techniques that have led to a more effective management of natural and economic resources.

In this context, the study addresses the strategy of sustainable infra-structure through the permeable concrete pavement, as a way of mitigating the waterproofing of urban surfaces by reducing surface runoff and allowing the percolation of rainwater through the drainage layer of the coating executed in porous concrete. The methodology was outlined by an experimental research that approached the study of three types of permeable pavements to analyze the permeability coefficient (k) measured in m/s. The tests were composed of samples of draining paver, draining plate and draining pavement segment, both with a thickness of 6 cm. In order to carry out the tests, a hydraulic table is constructed consisting of a smooth mechanical steel grid to support the specimens (sample set) and a metal gutter to retain and reuse the water used during the execution of the tests carried out in the laboratory. The results showed better hydraulic percolation efficiency for the drainage pavement segment, however, not adding better performance as a surface condition for mobility.

Keywords: Pervious floor, Porous concrete, Urban drainage.

1. Introdução

A partir da segunda metade do século XX, houve intensa concentração da população em áreas urbanas, manifestando-se como fenômeno mundial, inclusive no Brasil. Neste movimento, foi constatado um aumento considerável no fluxo do campo para as cidades, agravando os problemas de infra-estrutura pública, com forte impacto na drenagem urbana e no saneamento básico (BATEZINI, 2013).

Com o crescimento das cidades e a evolução da malha viária em todo o mundo, a impermeabilização do solo fez aumentar a intensidade e a frequência dos eventos de inundação intraurbana (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), a ocorrência de inundações em áreas urbanas no Brasil tem-se intensificado e tornado mais frequente a cada ano e um dos fatores que colaboram para este agravamento é a crescente impermeabilização do solo (SALES, 2008).

Contudo, devido a incapacidade do poder público em construir sistemas adequados na mesma proporção em que a ocupação urbana avança, grandes porções das cidades modernas são dotadas de sistemas de macrodrenagem deficientes, o que acarreta riscos elevados de ocorrência de inundações, que podem ser agravadas pelas enchentes, ocasionando sérias consequências em termos de perdas sociais e econômicas (HÖLTZ, 2011).

Segundo Balbo (2020), compreende-se que os pavimentos de concreto devam apresentar elevada durabilidade visando baixo nível de manutenção. Apesar do discurso um tanto retórico no Brasil, há uma nova luz com os concreto permeáveis, com os quais torna-se possível empregar recursos naturais de modo a mitigar problemas de drenagem relacionados a impermeabilização dos solos urbanos.

Neste contexto, a pesquisa foi elaborada com o objetivo de apresentar um estudo sobre a eficiência da condutividade hidráulica do concreto poroso como camada de revestimento drenante em sistemas de pavimentação permeável para implementação na infraestrutura de áreas públicas. A condutividade hidráulica foi definida pelo coeficiente de percolação (k) e determinado conforme prescrições normativas da ABNT NBR 16415:2015, cujo índice de permeabilidade deve ser expresso por $k > 10^{-3}$ m/s.

A metodologia foi delineada por uma pesquisa experimental na qual foram utilizados 3 tipologias diferentes de revestimentos permeáveis de concreto: *paver* drenante intertravado com seção (10 x 20) cm, placa drenante de concreto de seção (40 x 40) cm e uma amostra de segmento de pavimento drenante com seção (80 x 80) cm, atendendo a especificação da NBR 16416 (ABNT, 2015), a qual orienta área mínima de 0,5 m² para segmentos de pavimentação permeável. A mesma norma também orienta que a

aprovação final do pavimento permeável, em relação ao coeficiente de permeabilidade, deve seguir a descrição do método de ensaio (Anexo A) e ser realizada *in situ*, após a execução do pavimento.

Para a obtenção dos resultados foi construído uma mesa hidráulica constituída de uma estrutura metálica de 4 apoios que suportam uma grelha drenante para suporte das amostras e uma calha de alumínio para vazão d' água durante a realização dos ensaios. Os resultados da pesquisa indicaram valores em que todas as amostras testadas atenderam aos parâmetros orientativos da nota técnica, com melhor *performance* para o segmento de pavimento drenante.

O artigo está estruturado em cinco seções, com a seguinte apresentação: na seção 1 foi abordada a introdução com um contexto inicial, objetivos, metodologia e resultados; a seção 2 descreveu o referencial teórico; na seção 3 foi delineada a metodologia da pesquisa; a seção 4 avaliou os resultados dos ensaios; na seção 5 foi argumentado as considerações finais.

2. Referencial teórico

2.1 Aceno Histórico

A técnica do concreto poroso ou concreto sem finos (*no-fines concrete*, como denominado na época), tem origem na Alemanha e foi empregado pela primeira vez nos anos de 1920, sendo utilizado experimentalmente para construção de casas durante a Segunda Guerra Mundial pela *Scottish Special Housing Association* (FLEMING, 2005).

O pavimento drenante foi empregado inicialmente na França, em meados dos anos 1945-1950, contudo, sem resultados expressivos, uma vez que, na época, a qualidade do ligante asfáltico não sustentava as ligações da estrutura por causa do excesso de vazios. Posteriormente, foi utilizado somente 20 anos mais tarde, no final da década de 1970, quando alguns países como Estados Unidos, França, Japão e Suécia voltaram a se interessar pelo pavimento drenante (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

As experiências no Brasil com pavimentação drenante iniciaram na década de 1980 com sua aplicação em aeroportos. Em 1983, houve uma aplicação de cimento asfáltico comum no aeroporto de Confins, da cidade de Belo Horizonte/MG. Em 1987, foi aplicado um revestimento asfáltico drenante utilizando cimento asfáltico modificado por polímero. Em 1997, foi executado um trecho experimental de 2 km de extensão na via marginal da BR 116 (Rodovia Presidente Dutra), em São Paulo, com 4 cm de espessura e 18% de vazios. Na Bahia, no ano de 2000, for realizado um trecho experimental de 600 m na Rodovia BA-099, utilizando-se revestimento com concreto asfáltico poroso (CAP) modificado com 4% de polímero (OLIVEIRA, 2003).

2.2 Princípios do pavimento drenante

Para efeitos da NBR 16416 (ABNT, 2015), aplica-se o termo pavimento permeável como sendo o pavimento que atende as solicitações de esforços mecânicos simultaneamente às condições de rolamento, e cuja estrutura permite a percolação e/ou acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano estrutural. A estrutura do pavimento permeável é composta pela combinação das camadas de subleito (permeável ou não) + base permeável + revestimento permeável, dimensionada para suportar o carregamento do tráfego, distribuir os esforços no subleito e permitir a percolação de água.

Segundo Batezini (2013), o pavimento permeável é definido por apresentar elevada drenabilidade e porosidade devido a capacidade de infiltração da água através de seus

poros. O concreto poroso é um material composto por ligante hidráulico, pedra britada, pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo e água, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Pavimento permeável de concreto poroso



Fonte: Tennis, Leming e Akers (2004)

Os revestimentos em concreto permeáveis são cabíveis em áreas de estacionamento para veículos de passeios desde que, devidamente tratada a drenagem das camadas com base granular também permeável para funcionar como caixa de acúmulo temporário de águas pluviais (BALBO, 2009).

Os pavimentos permeáveis, ao permitirem a infiltração do escoamento superficial, podem ser um canal de poluição dos lençóis subterrâneos, ao dirigirem contaminantes para o subsolo. Por outro lado, eles propiciam a retenção de poluentes, promovendo uma purificação física, química e biológica da água. A purificação física deve-se pela remoção do material particulado em suspensão; a purificação química está vinculada à natureza alcalina do concreto promovendo a precipitação dos contaminantes; já a purificação biológica está ligada à porosidade do concreto que possibilita a atividade microbiana e promove a degradação dos materiais em suspensão (BECKER; PINHEIRO, 2019).

Os pavimentos permeáveis também são conhecidos como estruturas-reservatório por qual referem-se às funções da matriz porosa de que são constituídos, com atendimentos às seguintes funções nominais:

- a) Função mecânica - associada ao termo estrutura, relativa a suportar os carregamentos do tráfego pelo qual é dimensionado;
- b) Função hidráulica - associada ao termo reservatório, pelas ações de retenção, drenagem e infiltração das águas no solo do subleito (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que o concreto drenante, também conhecido como concreto sem finos, é permeável a fluídos devido a sua estrutura altamente porosa e pode ser avaliado por meio de três parâmetros:

- a) Segurança: a drenagem superficial elimina a dispersão e o acúmulo de água sobre o pavimento, prevenindo riscos como a aquaplanagem;
- b) Benefícios ambientais: o uso do pavimento permeável contribui para a redução do efeito de calor urbano, aumenta a recarga do lençol freático, além de promover o crescimento da vegetação nas áreas adjacentes;
- c) Vantagens econômicas: elimina custos para controle do escoamento das águas pluviais, tais como bacias de retenção, valas e lagoas.

2.3 Sustentabilidade do pavimento drenante

O equilíbrio dinâmico do desenvolvimento sustentável está fundamentado no âmbito das três dimensões que identificam o conceito do *Triple Bottom Line*, o qual reflete um conjunto de valores, objetivos e processos cujas premissas correspondem aos resultados em três dimensões: ambiental, social e econômico (Barsano e Barbosa, 2014 e Dias, 2017), ou seja, uma ação sustentável precisa ser economicamente viável, socialmente justa e ecologicamente correta (LUCHEZZI, 2017).

Todas as atividades humanas dependem de um ambiente construído (AC) cuja dimensão planetária implica em grandes impactos ambientais, incluindo grande quantidade de materiais de construção, mão de obra, água, energia e geração de resíduos. A intensidade do consumo dos materiais de construção total e *per capita* vem aumentando de forma contínua e quase ininterrupta nos últimos 100 anos. A construção do AC demanda uma enorme quantidade de materiais, algo em torno de 4 a 7 toneladas por habitante por ano (AGOPYAN, JOHN; GOLDEMBERG, 2011).

Para Marchi, Bohana e Fernandez (2018), a construção civil é responsável pelo consumo de 75% dos recursos naturais extraídos no planeta, **em dissonância** (dos autores, grifo nosso) com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12305, de 2 de agosto de 2010, no seu Capítulo II, Artigo 6, em que institui o Princípio IV do Desenvolvimento Sustentável e o Princípio V da Ecoeficiência definido mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta.

Todos os pavimentos que de alguma forma possam reduzir o impacto com o meio ambiente são denominados de pavimentos sustentáveis; assim sendo, as técnicas de engenharia devem buscar soluções econômicas, com benefícios para a sociedade, sem degradar o meio ambiente (BONFIM, 2021).

Tennis, Leming e Akers (2004) atestam que o pavimento de concreto permeável é um meio único e eficaz para atender às crescentes demandas ambientais. Os autores ainda afirmam que o concreto permeável é um mecanismo que recarrega as águas subterrâneas ao capturar a água da chuva e permitir que ela penetre no solo, reduzindo o escoamento das águas pluviais.

Segundo Balbo (2020), os concretos permeáveis podem compreender conceitos e métodos a fim de se tornar um material eficiente ambientalmente para a pavimentação viária, empregando-se recursos naturais de modo a mitigar problemas ambientais relacionados à impermeabilização dos solos urbanos, reduzindo o escoamento superficial pela captação de águas pluviais. Ainda, segundo o mesmo autor, os pavimentos permeáveis apresentam menor emissividade de radiação, diminuindo a intensidade das ilhas de calor urbano, quando comparados com os concretos asfálticos.

3. Metodologia

A categoria desse estudo tem natureza com finalidade de pesquisa aplicada ao segmento da construção civil e abordagem dimensional tanto qualitativa como quantitativa (quali-quantitativa). Qualitativa pela construção em função do aporte de volume teórico-conceitual referenciada e quantitativa por meio da representatividade numérica denotada pelo coeficiente de infiltração k (permeabilidade). Em relação aos procedimentos técnicos para coleta de dados, o planejamento da pesquisa tem delineamento experimental, mostrado pela operação dos ensaios do conjunto amostral no ambiente laboratorial. Para realização dos ensaios foi construída uma mesa hidráulica em estrutura metálica galvanizada a zinco

composta de uma grelha para apoio das amostras e uma calha em alumínio para reuso da água durante a execução dos ensaios. A estrutura metálica foi composta de um quadro superior com seção (40 x 60) mm e espessura de 3 mm, além de um segundo quadro, intermediário, para travamento do conjunto, que está em 4 suportes laterais (pés da mesa). A estrutura é quadrada e tem dimensões de 1.00 m x 1.00 m e altura de 85 cm, conforme mostra figura 2.

Figura 2 - Mesa hidráulica



Fonte: Autores (2022)

No primeiro ensaio, com a amostra do *paver* drenante, conforme demonstra figura 3, foram realizados três amostragens distintas com paginação unitária de 8 *pavers* e projeção de seção (10 cm x 20 cm) cada peça, totalizando 1600 cm² por conjunto amostral. Todas as amostras eram de concreto pré-moldado adensadas por vibro-prensa e foram cedidas por um fabricante local.

Figura 3 - *Paver* drenante: espessura 6 cm



Fonte: Autores (2022)

Os ensaios de percolação de água para determinação da eficiência hidráulica das três amostras, definidos pela variável *k*, foram realizados com a disposição de um anel metálico de 300 mm de diâmetro e altura de 7 cm sobre as amostras, para medição do tempo de percolação. Segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015), anel de infiltração deve ser vedado na parte em contato com o pavimento com massa de calafetar e deve iniciar em até 2 minutos depois da execução da pré-molhagem. Se o tempo de percolação de água durante a pré-molhagem de 3,6 litros for abaixo de 30 segundos, a medição do tempo de percolação dos testes nas amostras deverá ser com 18 litros de água; caso ultrapassasse os 30 segundos de pré-molhagem, o teste deverá ser mantido com o mesmo volume de

3,6 litros. O tempo t adotado para cálculo do coeficiente k foi determinado pela média aritmética de três medições consecutivas de cada amostra estudada.

No segundo ensaio, de placa drenante, visto na figura 4, procederam-se três amostragens distintas com peças de seção unitária (40 cm x 40 cm), sendo que o anel também foi isolado para estanqueidade à água durante o ensaio. As três amostras da placa drenante também foram cedidas por um fabricante local, executadas em concreto pré-moldado e formatadas por vibro-prensa.

Figura 4 - Ensaio da placa drenante



Fonte: Autores (2022)

No terceiro ensaio, para o segmento de pavimento drenante, previamente avaliado em laboratório, também considerou-se as prerrogativas da NBR 16416 (ABNT, 2015), à qual designa revestimento com no mínimo $0,5 \text{ m}^2$ de área. Neste caso, foi executada amostra com seção de (80 cm x 80 cm), com área de $0,64 \text{ m}^2$, atendendo a regulação normativa. O teste do segmento de pavimento drenante remete a condição de ensaio em campo, simulando as condições de traço em pista *in situ*, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Segmento de pavimento drenante



Fonte: Autores (2022)

O proporcionamento para composição do traço utilizado na execução do segmento de pavimento drenante foi retirado da obra *Pervius Concrete Pavements*, de autoria do consultor Paul D. Tennis, do professor Michael L. Leming e do engenheiro de campo David J. Akers, da *Portland Cement Association*, referente à quinta edição de 2008. A quantidade postulada para cada material foi mostrada na tabela 1, sendo adotado para este artigo os índices de menor valor em cada intervalo para os respectivos materiais.

Tabela 1 - Consumo de materiais do concreto permeável

Material	Consumo
Agregado Graúdo	1190 a 1480 Kg/m ³
Cimento	270 a 415 Kg/m ³
Relação água/cimento	0,27 a 0,34
Relação agregado/cimento	4 a 4,5:1

Fonte: Adaptado de Tennis, Leming e Akers (2008).

4. Resultados

4.1 Análise dos dados

A partir do tempo de pré-molhagem foi definida a massa de água utilizada para concluir o ensaio, sendo que deve-se despejar a água no anel de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as marcações de 10 mm e 15 mm graduadas na parede interna e inferior do mesmo. O tempo da pré-molhagem e assim como dos ensaios, deve ser fixado acionando o cronômetro assim que a água atingir a superfície do pavimento permeável parando o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do revestimento. O tempo para percolação da água nos ensaios, como já citado, foi definido pela média de três medições em cada um dos conjuntos amostrais. O coeficiente k foi calculado conforme equacionamento da NBR 16416 (ABNT, 2015), como segue:

$$K = \frac{C.m}{(d^2.t)}$$

Onde,

K: é o coeficiente de permeabilidade expressa em milímetros por hora (mm/h);

m: é a massa de água infiltrada em quilogramas (kg);

d: é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm);

t: é o tempo necessário para toda a água percolar expresso em segundos (s);

C: fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4 583 666 000.

Nos ensaios do *paver* drenante, primeiro ensaio, foi determinado uma percolação com tempo de pré-molhagem inferior a 30 s, neste caso, conforme instruções normativas, adotou-se o volume de 18 litros de água para cumprimento do ensaio. A tabela 2 apresenta os resultados obtidos assinalando o tempo médio de percolação e o coeficiente k nas unidades de (m/s) e (mm/s).

Tabela 2 - Coeficiente k: *paver* drenante

Amostras <i>paver</i> drenante	Tempo médio de percolação (s)	Coeficiente k (m/s)	Coeficiente K (mm/h)
Ensaio 1	55	$4,63 \times 10^{-3}$	16667,87
Ensaio 2	36	$7,07 \times 10^{-3}$	25464,81
Ensaio 3	44	$5,79 \times 10^{-3}$	20834,84

Fonte: Autores (2022)

Nos ensaios relativos às placas drenantes, segundo ensaio, o tempo da pré-molhagem foi acima de 30 segundos, sendo assim, adotado o volume equivalente a 3,6 litros de água. A tabela 3 apresenta os resultados com o tempo médio das três medições do tempo de infiltração para cada uma das três amostras e o respectivo coeficiente de percolação.

Tabela 3 - Coeficiente k: placa drenante

Ensaio placa drenante	Tempo de percolação (s)	Coeficiente K (m/s)	Coeficiente K (mm/h)
Ensaio 1	120	$2,12 \times 10^{-3}$	7639,44
Ensaio 2	155	$1,64 \times 10^{-3}$	5914,40
Ensaio 3	49	$1,04 \times 10^{-3}$	3741,76

Fonte: Autores (2022)

No terceiro ensaio de infiltração do segmento de pavimento drenante, o tempo de pré-molhagem foi aferido abaixo de 30 s, sendo o teste realizado com 18 litros de água para uma amostra desta tipologia. O tempo de percolação apurado no ensaio e o valor do coeficiente k estão representados na tabela 4.

Tabela 4 - Ensaio do segmento de pavimento

Ensaio do segmento de pavimento drenante	Tempo de percolação (s)	Coeficiente K (m/s)	Coeficiente K (mm/h)
Ensaio 1	32	$7,96 \times 10^{-3}$	28647,91

Fonte: Autores (2022)

4.2 Discussões dos resultados

Na análise do primeiro ensaio referente à amostra do *paver* drenante foi determinado um coeficiente de permeabilidade $k = 5,83 \cdot 10^{-3}$ m/s, e para o segundo ensaio, da placa drenante, foi obtido uma taxa de infiltração (denominado coeficiente “I” de acordo com o termo associado à expressão de Balbo, 2020) $k = 1,60 \cdot 10^{-3}$ m/s. Ambos os resultados atenderam às determinações da NBR 16416 (ABNT, 2015) à qual regulamenta o índice para $k > 1 \cdot 10^{-3}$ m/s. Para o segmento de pavimento drenante, referente a amostra 3, o resultado do coeficiente k foi de 0,796 cm/s ($7,96 \cdot 10^{-3}$ m/s), valor válido de acordo com a norma brasileira, e a melhor taxa de eficiência de todo o conjunto amostral. Ainda, segundo Tennis, Leming e Akers (2008), a partir da composição do traço elaborado pelos autores, o índice de permeabilidade deve estar compreendido entre 0,2 cm/s a 1,2 cm/s, neste caso, a pesquisa também corroborou com o parâmetro referenciado por estes autores.

5. Conclusões

A indústria da construção civil vem conseguindo recuperar as perdas econômicas dos últimos anos, desempenhando crescimento no mercado de trabalho e dinamismo das atividades do mercado imobiliário. A inserção de inovação e tecnologia é preponderante para a sua expressão na economia nacional, gerando emprego e renda para o fortalecimento desse segmento industrial. Por outro lado, a construção civil necessita consolidar uma mudança cultural nos processos convencionais de gestão da produção para o gerenciamento enxuto, de forma a mitigar o seu consumo ambiental.

A redução dos recursos naturais sugere por ações sustentáveis na proposição dos materiais empregados para a execução dos sistemas estruturais. Neste sentido, a incorporação do concreto poroso como camada de revestimento drenante em pavimentos permeáveis da infraestrutura urbana torna-se expansivo no que diz respeito à implantação do desenvolvimento sustentável. Há ainda de se julgar também que, o maior índice de porosidade e o menor peso específico do concreto poroso, corroboram como parâmetros físicos para a redução do consumo de materiais para sua produção, redução esta que

promove viés sustentável à indústria da construção civil.

Os objetivos delimitados pelo artigo em que se propôs a analisar o coeficiente de permeabilidade k (ou índice de infiltração) foram cumpridos, abordando resultados que satisfizeram as instruções normativas de referência. A pesquisa apontou a melhor eficiência de percolação para o segmento de pavimento drenante, todavia, segundo os autores, não desempenha a função de trafegabilidade ideal, visto a condição irregular dos grãos (brita 1) na sua camada superficial.

Neste contexto, recomenda-se a utilização do *paver* drenante ou da placa drenante como elementos pré-moldados de revestimento para a camada do pavimento permeável, os quais apresentam melhor acabamento superficial visto adensamento em vibro-prensa. Fato é que, podem ser elaborados estudos futuros com o emprego de agregados de menor granulometria (brita 0) para o traço de concreto poroso, uma vez que a pesquisa limitou-se aqueles agregados (brita 1).

O Brasil enfrenta problemas generalizados associados aos sistemas inadequados de drenagem urbana, que se consiste como de competência do serviço público, responsável pelo planejamento de ações estratégicas no que tange ao escoamento superficial das águas pluviais. A sobrecarga dos atuais sistemas de drenagem (canais, valas, tubulações, entre outros), acarretam impactos ambientais, sociais e econômicos, considerados premissas do processo cíclico tridimensional para o desenvolvimento sustentável. Nessa abordagem, o emprego dos pavimentos permeáveis pode trazer importante contribuição, promovendo o equilíbrio entre a quantidade de água escoada e infiltrada.

Referências

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M.; GOLDEMBERG, José. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: pavimentos permeáveis de concreto: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto permeáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BARSANO, Paulo Roberto; BARBOSA, Rildo Ribeiro. **Gestão Ambiental**. São Paulo: Erica, 2014.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BECKER, Nayara; PINHEIRO, Ivone Gohr. **Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial**: uma revisão. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, p. 1-11, 2019.

BONFIM, VALMIR. **Pavimento sustentável**. São Paulo: Execução Editorial e Eventos, 2021.

DIAS, Reinaldo. **Gestão ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2017.

FLEMING, Eric. **Construction Technology**: in illustrated introduction. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

HÖLTZ, Fabiano da Costa. **Uso do concreto permeável na drenagem urbana**: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LUCHEZZI, Celso. **Logística reversa na construção civil**: um mundo de oportunidades. São Paulo: Haryon, 2017.

MARCHI, Cristina M. Dacach; BOHANA, Mirela C. Ribeiro; FERNANDZ, José L. Borja. Gestão ambiental em resíduos sólidos: construções sustentáveis e ecoeficiência. **Revista Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 13, n. 1, p. 118-129, 2018.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

TENNIS, Paul D.; LEMING, Michel L.; AKERS, David J. **Pervious concrete pavements**. Skokie: Portland Cement Association, 2008.

SALES, Tarso Luís de. **Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.