



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC**  
**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ**  
**ENGENHARIA CIVIL**

**VANESSA DO NASCIMENTO DE ALMEIDA**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO CONCRETO PERMEÁVEL**

**UBÁ – MG**

**2016**

**VANESSA DO NASCIMENTO DE ALMEIDA**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO CONCRETO PERMEÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Érika Maria Carvalho Silva Gravina

**UBÁ – MG**

**2016**

Dedico esse trabalho a minha família e a meu namorado, que foram abrigo seguro perante as dificuldades durante este percurso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar sempre me acompanhando e guiando os meus passos.

Aos meus familiares, que me incentivaram durante todos os anos que estive na faculdade.

Aos parentes e amigos que me apoiaram nesta caminhada.

Aos meus colegas que ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika Maria Carvalho Silva Gravina pelos conselhos, conversas e discussões, pelo seu apoio e confiança por ter se dedicado e se empenhado durante todo o meu trabalho.

Aos Engenheiros Civis, Guilherme Luiz Martins da Silva e Weiller da Silva pela disponibilidade de materiais, pelo bloco de concreto permeável, pelas recomendações e sugestões que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade, da educação no processo de formação profissional, pelo que se dedicaram, ensinando-me e acima de tudo fazendo-me aprender.

A todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

## Resumo

A implantação de novas tecnologias que permitem a infiltração da água no solo tem sido estudada há vários anos por diversos países. Uma das alternativas para tal questão e que vem atraindo atenção nos últimos anos, é o concreto permeável, que é um tipo de material com alto índice de vazios comparado ao concreto convencional, com grandes poros conectados, que permite uma rápida percolação da água para o seu interior, normalmente conseguindo um índice de 15 a 25% de vazios. O objetivo desse trabalho consiste em analisar o concreto permeável, estudando suas características, métodos de dosagem, aplicação e suas vantagens e desvantagens. A metodologia para o desenvolvimento desse material identifica os principais fatores a serem considerados, tanto na produção do concreto, quanto na aplicação em uma obra. Esse material pode ser considerado uma possibilidade para a questão da falta de permeabilidade do solo em áreas de urbanização, capaz de garantir a infiltração das águas superficiais, recompor as condições originais do terreno, e garantir também as legislações municipais em relação à permeabilidade dos solos. Contribui para aliviar o sistema de drenagem urbana que se encontra sobrecarregado em função da quantidade de entulhos que são transportados pelas águas superficiais e pela vazão das chuvas, gerando assim o seu entupimento e causando as inundações. É considerado também uma importante aplicação no conceito de construção sustentável. Entretanto, são ainda necessários estudos complementares para realizar a aplicação dessa nova tecnologia.

**Palavras-chave:** Concreto permeável. Concreto convencional. Drenagem urbana. Construção sustentável.

## **Abstract**

The deployment of new technologies that allow the infiltration of water in the soil has been studied for many years by several countries. One alternative for that, which has attracted attention in recent years, is the permeable concrete, a type of material with a high void content if compared to conventional concrete, with large connected pores, which allows rapid percolation of the water to the its interior, usually achieving an index of 15 to 25% voids. The present work demonstrates the development methodology of this material, besides identifying the main factors to be considered, both in the production of the concrete and in its application in a work. This material can be considered a possible solution for the lack of soil permeability in areas of urbanization, ensuring the infiltration of surface waters, restoring the original conditions of the land, and ensuring municipal legislation regarding soil permeability. It helps to alleviate the urban drainage system, now overloaded due to the amount of debris transported by surface water and by the rains flow, causing clogging and flooding. It is also considered an important application in the concept of sustainable construction. However, further studies are still needed to carry out the application of this new technology.

**Keywords:** Permeable concrete. Conventional concrete. Urban drainage. Sustainable construction.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das áreas urbanas do Brasil e em grande parte do mundo está ligado ao desenvolvimento desordenado e, que não se leva em conta o meio ambiente. Essa ocupação desordenada acaba por limitar as áreas com solo exposto, naturalmente permeável, e grandes áreas são revestidas de diferentes materiais que diminuem a capacidade de infiltração das águas pluviais (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Entre os impactos no processo hidrológico que este desenvolvimento trouxe para as áreas urbanas estão o aumento das superfícies impermeáveis. As consequências desses impactos se manifestam sob a forma de inundações urbanas, através de frequentes alagamentos e enxurradas que se repetem ou agravam a cada ano, a degradação da qualidade das águas pluviais e, com isso reduzindo a qualidade de vida da população e trazendo prejuízos para o valor das propriedades (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Segundo Polastre e Santos (2006), para uma real solução de todos os problemas descritos acima surgiu há várias décadas na Europa, nos Estados Unidos (EUA), Japão e Chile o pavimento permeável e sustentável. As primeiras experiências com concreto permeável ocorreram na França entre os anos 40, devido ao crescimento das grandes cidades e à necessidade de se buscar técnicas que possibilitasse devolver ao solo sua capacidade de infiltração.

De acordo também com Holtz (2011), uma alternativa para reverter o grande impacto ambiental que a impermeabilização urbana acarreta ao meio ambiente, tanto direta como indiretamente, seria ao invés de construir pavimentos com concreto ou asfalto convencional, substituir para pavimento de concreto permeável, uma tecnologia mais limpa, que permite uma maior infiltração da água pluvial.

O concreto permeável é um tipo de concreto com maior índice de vazios que o concreto convencional, preparado com pouco ou nenhum agregado miúdo, o que permite a passagem desobstruída de grandes quantidades de água. A aplicação do concreto permeável permite recarregar os aquíferos subterrâneos e reduzir a velocidade e a quantidade do escoamento superficial das águas pluviais. Quando utilizado como pavimentação externa, captura a água da chuva e permite que ela infiltre diretamente no solo, aliviando assim o sistema público de drenagem. Entretanto, permite uma utilização mais eficiente do solo, uma vez que minimiza, ou até dispensa, outras obras de microdrenagem local, como pontos de retenção da água, valas, entre outros. A utilização prática do concreto permeável está diretamente ligada à preservação do meio ambiente (BATEZINI, 2013).

No Brasil, o concreto permeável ainda está em fase de teste, porém, em abril de 2006 foi aplicado de caráter inédito na América Latina na construção do Parque Tecnológico de Belo Horizonte. A pavimentação do parque foi feita pelo concreto permeável uma vez que diminui o perigo de enchentes e alimenta as nascentes do parque. Sua utilização vem crescendo a cada ano, já que contribui para que sejam atendidas as legislações municipais relacionadas à infiltração e à permeabilidade dos terrenos. Além disso, as legislações municipais estão mais exigentes em relação à infiltração e permeabilidade na pavimentação de terrenos. Com isso, diversos estudos da resistência à compressão, durabilidade e permeabilidade são realizados para qualificar a eficiência e aplicabilidade deste concreto para o amortecimento das cheias (BATEZINI, 2013).

O objetivo deste trabalho consiste em analisar o concreto permeável, estudando suas características, métodos de dosagem, aplicação e suas vantagens e desvantagens.

A escolha do tema foi baseada na questão de sustentabilidade que está em evidência nos dias de hoje. Sustentabilidade é um termo usado para definir ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações, ou seja, se desenvolver sem agredir o meio ambiente. Portanto, na utilização do concreto permeável estará restabelecendo o ciclo hidrológico<sup>1</sup>, além de apresentar diversas outras vantagens conforme serão apresentadas.

---

<sup>1</sup> Ou ciclo da água, é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Definição do Concreto Permeável

A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR16416 (ABNT, 2015), define que o concreto permeável é um material com vazios interligados que permitem a percolação de água<sup>2</sup> por ação da gravidade.

O *American Concrete Institute*<sup>3</sup> (ACI) norma 522R (2006), define o concreto poroso ou concreto permeável como uma estrutura que possui vazios interconectados entre si que permitem que a água passe através da superfície. É considerado um material de construção sustentável, uma vez que reduz o escoamento das águas pluviais, melhora a qualidade da água de recarga do lençol freático e pode reduzir o impacto da urbanização.

No concreto permeável, quantidades controladas de água e cimento formam um espesso revestimento em torno das partículas de agregado graúdo<sup>4</sup>. Assim, criam-se muitos vazios interligados, que deixam a peça altamente permeável. Normalmente consegue-se um índice de vazios<sup>5</sup> entre 15 a 25%. A alta porosidade reduz significativamente a resistência à compressão deste material em relação ao concreto convencional. Em países como EUA é muito utilizado em pavimentação, para facilitar a drenagem das águas pluviais (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Com isso, o grau de permeabilidade associado aos concretos permeáveis é suficiente para permitir a passagem de todo fluxo precipitado de grande parte dos eventos de precipitação, praticamente anulando o escoamento superficial.

As principais diferenças entre o concreto convencional e o concreto permeável são apresentadas na TAB.01, o concreto convencional possui alta resistência e é feito para ser estanque, já o concreto permeável é feito para permitir a passagem de água e por isso apresenta resistência moderada.

---

<sup>2</sup>Fenômeno do deslocamento da água.

<sup>3</sup>Instituto Americano de concreto.

<sup>4</sup>Os agregados graúdos ficam retidos na peneira 4,8 mm. NBR 7217/87.

<sup>5</sup>O volume dos sólidos ( $V_s$ ) é obtido através do ensaio de Massa Específica Real dos Grãos, o volume total da amostra ( $V$ ) é calculado, por exemplo, pelo Método da Balança Hidrostática e por consequência, o volume de vazio ( $V_v$ ) é a diferença entre os dois.

TABELA 01 – Comparativo entre concreto convencional e permeável

TIPO	RESISTÊNCIA COMPRESSÃO (MPA)	AREIA	BRITA	ADITIVOS
CONVENCIONAL	20 a 60 MPA	De 30 a 50 % do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados	Opcional
PERMEÁVEL	3 a 30 MPA	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos (brita '0' e pedriscos)	Redutor de água, retardador de pega e incorporador de ar

Fonte: ACI 522, 2010

## 2.2 Drenagem Urbana

Desde que o homem começou a se organizar em núcleos urbanos, a gestão das águas pluviais passou a ser um dos desafios a serem enfrentados pela administração pública. Quando as cidades tinham menor porte esse desafio tinha menor grandeza, especialmente porque grande parte dos núcleos urbanos mais antigos surgiu à beira de corpos de água, que eram receptáculos naturais do fluxo de águas pluviais, e, em muitos casos, eram usados como meio para retirada dos dejetos auxiliando no saneamento urbano (HOLTZ, 2011).

Dessa forma, Baptista, M.; Nascimento, N.; Barraud, S., (2011), destacam alguns impactos causados por esse crescente aumento populacional urbano ao longo das décadas, como a alteração do ciclo hidrológico e do meio ambiente; a redução da interceptação; o armazenamento superficial; e um aumento dos volumes de escoamento superficial, visto que há um acréscimo de áreas impermeabilizadas e a água que antes infiltraria agora acaba escoando.

A aplicação do concreto permeável é uma medida de controle que visa minimizar os danos causados por alagamentos, por inundações, pelas enchentes e pela falta de recarga dos aquíferos (CARVALHO; LELIS, 2010).

Segundo Tucci (2003), um fator histórico que afeta as questões de drenagem urbana é o de muitas cidades terem sido fundadas em regiões próximas a rios de médios e grandes portes, pois sua sustentação, no início, dependia do uso de transporte fluvial. Com o

crescimento das cidades, houve uma natural ocupação de áreas de várzea, agravando os problemas com a drenagem.

Tucci (2003), ainda relata que, na proporção em que as cidades crescem, ocorrem consequências indesejadas para o sistema de drenagem urbana, tais como:

- a) Aumento das vazões máximas, dos volumes escoados, devido a uma maior capacidade de escoamento através dos condutos e dos canais e à impermeabilização das superfícies;
- b) Redução da evapotranspiração<sup>6</sup>, do escoamento subterrâneo e do rebaixamento do lençol freático;
- c) Aumento da produção de sedimentos, devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos;
- d) Deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido (principalmente ao início das chuvas) e às ligações clandestinas de rede de esgoto com a rede de água pluvial.

A alta permeabilidade (FIG.01) é, portanto, a principal razão desse material estar sendo investigado e produzido nos dias atuais. Quando o concreto 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 urbano (HOLTZ, 2011).

FIGURA 01 – Corpo de prova de concreto permeável



Fonte: POLASTRE; SANTOS, 2006

---

<sup>6</sup> Perda de água de uma comunidade ou ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo e transpiração das plantas.

## 2.3 Histórico

Segundo Li (2009), o uso do concreto permeável teve início há mais de 150 anos, embora a sua real aplicação para as mais diversas finalidades somente veio a apresentar grande avanço há pouco mais de 20 anos, principalmente nos EUA. Recentemente, as pesquisas sobre o comportamento mecânico e hidráulico desse tipo de material se tornaram atrativas, uma vez que o concreto permeável pode apresentar bom desempenho e durabilidade, quando utilizado como revestimento de pavimentos em áreas de veículos leves, o que, aliado à sua capacidade drenante, permite o seu emprego como equipamento urbano de mitigação dos níveis de impermeabilização intensificado pela urbanização das cidades (BATEZINI, 2013).

A Segunda Guerra Mundial, entre 1939 e 1945, deixou quase toda a Europa com uma grande necessidade de moradias, o que encorajou o emprego de método de construção simples e de baixo custo, que nunca tinham sido antes usados e gerou uma onda de uso do concreto permeável.

Segundo o boletim ACI (2006), após a Segunda Guerra mundial, a grande demanda por tijolos e matéria-prima para reconstrução da infraestrutura dos países afetados, associada à inabilidade da indústria em produzir tijolos com a rapidez necessária, também levou à adoção do concreto permeável como material de construção. Isto ocorreu, principalmente, devido à grande disponibilidade de agregados graúdos e à ausência de bons tijolos (HOLTZ, 2011).

Ao longo dos anos, o concreto permeável contribuiu substancialmente para a produção de casas no Reino Unido, Alemanha, Holanda, França, Bélgica, Escócia, Espanha, Hungria, Venezuela, Oeste da África, meio Leste, Austrália e Rússia (ACI, 2006).

Apesar de o concreto permeável ter sido largamente usado na Europa e Austrália, especialmente nos últimos 60 anos, o seu uso como material de construção nas Américas, até o final do século XX, foi bastante limitado. Uma possível razão para esse cenário é que a América não experimentou a escassez de materiais vivida pela Europa após a Segunda Guerra Mundial, como explica Ghafoori (1995).

Um ponto positivo é que o concreto permeável já começou a ser usado em alguns projetos-piloto e demonstrativos. Em abril de 2006, em Belo Horizonte (MG), começou a ser construído o Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH- Tec), que funciona próximo ao Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), um empreendimento viabilizado a partir da parceria entre a UFMG, o Governo do Estado de Minas Gerais, a

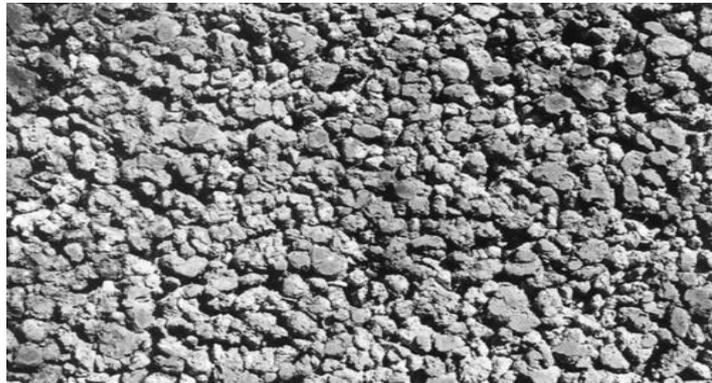
Prefeitura da cidade de Belo Horizonte, a Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). Segundo o coordenador de obras, Eduardo Roscoe, o projeto foi concebido para ser executado de forma ecologicamente correta e tem caráter inédito na América Latina. A pavimentação do espaço é de concreto permeável, o que diminui os riscos de inundações e alimenta as nascentes do Parque (POLASTRE; SANTOS, 2006).

No caso de legislação municipal o Brasil ainda não tem incentivo ou divulgações da utilização do concreto permeável, ao contrário do que ocorre nos países desenvolvidos como no caso do EUA, Alemanha e entre outros países.

## 2.4 Características do Concreto Permeável

A principal característica do concreto permeável é vista em sua textura (FIG.02), é permitir a infiltração da água através de sua superfície, para sua posterior infiltração no solo. Este tipo de pavimento tem sido bastante analisado na atualidade por ser uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico como econômico (AZAÑEDO; HELARD; MUÑOZ, 2007).

FIGURA 02 – Textura de pavimento de concreto permeável



Fonte: ACI 522, 2010

O concreto permeável possui uma resistência inferior à do concreto convencional, devido à sua alta porosidade. Por isso, é limitado às áreas de tráfego leve<sup>7</sup> ou pouco intenso.

Segundo a norma americana ACI (2006), as misturas de concreto permeável tendem a desenvolver resistências mecânicas de compressão na faixa de 3,5 a 28 Mpa aos 28 dias. Entretanto, Polastre e Santos (2006), afirmam que a média dos concretos permeáveis, normalmente produzidos, está próxima a 25 MPa.

---

<sup>7</sup> Que tenha menor carga, ou seja, carros.

A massa específica e o índice de vazios característicos do concreto permeável variam em função da proporção relativa de cada material constituinte da mistura, bem como do procedimento de compactação empregado (TENNIS, PAUL D.; LEMING, MICHAEL L.; AKERS, DAVID J., 2004).

Os concretos permeáveis são caracterizados por apresentarem uma textura superficial diferenciada, quando comparados ao concreto convencional. Essa diferença está associada à pequena ou nula quantidade de agregados miúdos na sua composição, o que proporciona uma superfície mais rugosa, elevando o coeficiente de atrito. Esse tipo de textura pode trazer benefícios relativos à segurança dos usuários, principalmente, em períodos chuvosos ou em ocorrências de neve e de gelo na pista, já que, além do maior coeficiente de atrito atribuído à estrutura mais rugosa, a condição permeável do concreto pode ser bastante efetiva na diminuição dos riscos de hidroplanagem<sup>8</sup>. Isso ocorre, porque a água proveniente das intempéries percola pelo revestimento permeável do pavimento, não permanecendo na sua superfície, o que evita a formação de poças d'água e diminui a ocorrência do fenômeno de *spray*<sup>9</sup> (TENNIS, PAUL D.; LEMING, MICHAEL L.; AKERS, DAVID J., 2004).

Para avaliarem suas propriedades acústicas, Kajio *et al.* (1998), compararam os níveis de ruído gerados em pavimentos com revestimentos em concretos permeáveis, contendo duas diferentes dimensões de agregados (6,3 mm e 12,5 mm), e em pavimentos asfálticos densos, considerando diferentes velocidades de veículos sobre a pista (TAB.02). Constataram que, para ambos os diâmetros de agregados utilizados, os níveis de ruído medidos foram de intensidade reduzida no pavimento de concreto permeável quando em comparação com o pavimento revestido com concreto asfáltico convencional. Além disso, notaram que a variação do diâmetro máximo dos agregados influi muito pouco na propagação do ruído, uma vez que os resultados obtidos na pesquisa são muito semelhantes para esses dois casos. Olek *et al.* (2003), relatam que a estrutura aberta do concreto permeável promove uma diferença no tempo de chegada e de reflexão das ondas sonoras provenientes da movimentação dos veículos sobre o pavimento. Essa diferença diminui o nível da intensidade do ruído, fazendo com que o revestimento absorva parte do ruído gerado pelo tráfego.

---

<sup>8</sup> Fenômeno que ocorre em veículos quando passa sobre a água, pneus perdem o contato com a pista.

<sup>9</sup> Passagem dos pneus no pavimento molhado.

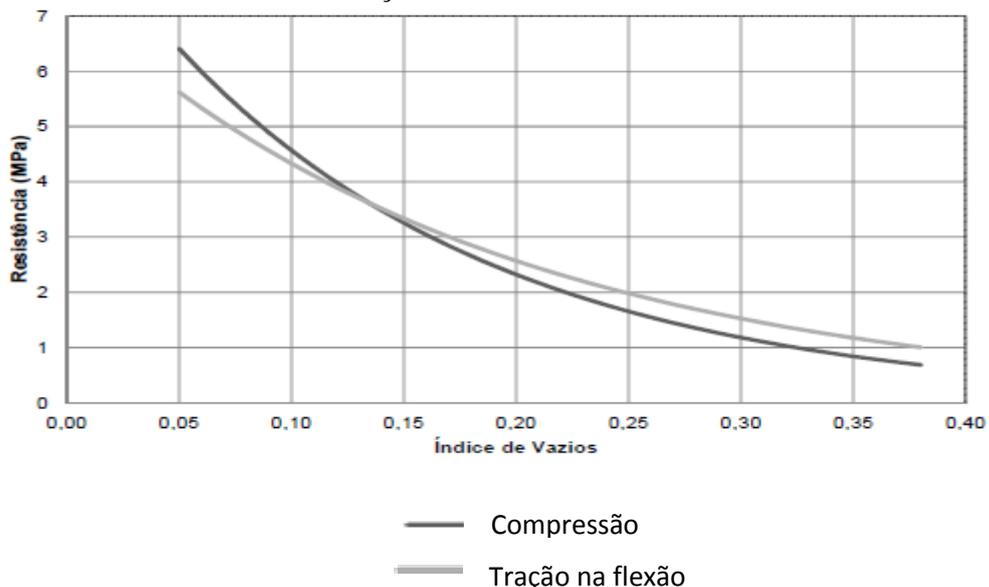
TABELA 02 – Resultado de medidas de ruídos em concreto permeável e revestimento asfáltico

Veículo	Condição do pavimento	Velocidade (Km/h)	Nível de ruído (dB)		
			Concreto permeável ( $\phi$ máx em mm)		Revestimento asfáltico
			6,3	12,5	
De passeio	Seco	40	65,8	66,6	72,3
		60	72,2	74,5	79,9
		75	75,1	77,9	82,5
	Molhado	40	66,8	68,1	70,6
		60	73,1	74,4	77,2
		75	75,9	77,8	80,4
Caminhão	Seco	40	73,8	72,5	80,6
		60	82,0	81,0	86,5
		40	74,8	76,1	78,6
	Molhado	60	81,7	81,3	84,5

Fonte: KAJIO *et al.*, 1998

A quantidade de agregado graúdo, miúdo, cimento e água vão variar de acordo com a resistência que se busca ter no concreto. Quanto maior a resistência que se procura, menor será a permeabilidade. Para se obter mais permeabilidade, é necessário um maior volume de vazios e, portanto, haverá menos resistência (FIG.03). Conforme o ACI (2006), pode-se considerar que a relação cimento/agregado, assim como o processo de compactação ou adensamento a ser utilizado, são os dois fatores mais significativos da mistura, que realmente afetam diretamente as características mecânicas do material.

FIGURA 03 – Resistência à compressão e resistência à tração na flexão em função da variação do índice de vazios



Fonte: DELATTE *et al.*, 2009

#### 2.4.1 Características do Concreto Permeável no Estado Fresco

Com o valor baixo da relação água-cimento o concreto permeável apresenta uma alta consistência e, como consequência, uma baixa trabalhabilidade em comparação ao concreto convencional. O concreto permeável apresenta, normalmente, um *slump*<sup>10</sup> abaixo de 20 mm (ACI, 2006). A massa unitária do concreto permeável é cerca de 70% da massa unitária do concreto convencional e a massa específica do concreto permeável varia de 1.300 a 2.000 kg/m<sup>3</sup>, e enquanto para concreto convencional varia de 2.000 a 3000 kg/m<sup>3</sup> (BATEZINI, 2013).

#### 2.4.2 Características do Concreto Permeável no Estado Endurecido

O endurecimento do concreto resulta na coesão desenvolvida entre os cristais que se formam na pasta de cimento (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990). No estado endurecido, o concreto permeável deve apresentar quantidade de vazios de 15 a 25 % e resistência a compressão variando entre 2,8 a 28 MPa aos 28 dias.

#### 2.4.3 Materiais Utilizados na Composição do Concreto Permeável

O concreto permeável é produzido com os mesmos materiais utilizados na composição do concreto de cimento Portland (CCP), com a diferença de que a quantidade de agregados miúdos é muito reduzida, ou, na grande maioria das vezes, nula (ACI, 2006; TENNIS, PAUL D.; LEMING, MICHAEL L.; AKERS, DAVID J., 2004). As proporções utilizadas nas misturas de concreto permeável são geralmente muito mais restritas com relação às misturas de CCP, sendo que normalmente é necessário um controle visual rigoroso na sua produção para que se consigam obter as características desejadas no produto final (BATEZINI, 2013).

Na TAB.03 são apresentadas faixas típicas de consumo e proporções de materiais utilizados nas misturas de concreto permeável.

---

<sup>10</sup> Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência é o ensaio de abatimento do concreto, também conhecido como *slump* test. Neste ensaio, colocamos uma massa de concreto dentro de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes.

TABELA 03 – Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável

Materiais	Consumo/proporção
Ligante hidráulico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	270 a 415
Agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1.190 a 1.700
Relação água/cimento (a/c) em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 a 1:4,5
Relação agreg. miúdo/agreg. graúdo em massa	0 a 1:1

Fonte: ACI, 2006

#### 2.4.3.1 Aglomerantes

Todos os cimentos em estudo são chamados cimento Portland (CP), ou seja, uma mistura básica de clínquer e gesso (BOTELHO, M. H.C.; MARCHETTI, 2010).

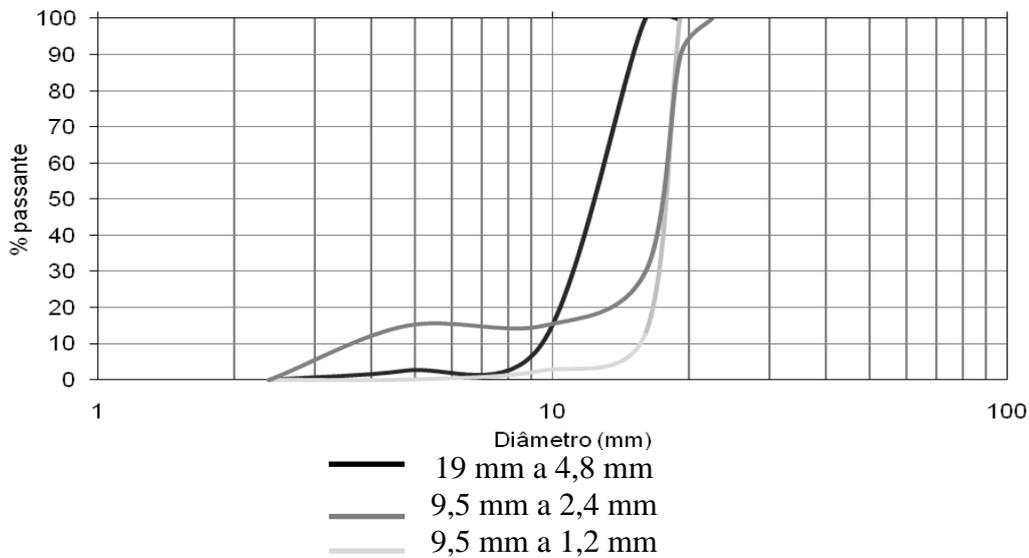
O principal ligante hidráulico utilizado como aglomerante em concretos permeáveis é o CP, em que o tipo a ser utilizado vai depender do estudo do local, podendo ser utilizado qualquer um dos tipos na fabricação do concreto permeável, outros materiais suplementares como cinza volante, escória granulada de alto-forno moída e sílica ativa, são também empregadas com a finalidade de melhorar as características mecânicas do produto final. Portanto, cabe recordar que as proporções com que esses aditivos são incorporados à mistura devem ser cuidadosamente observadas, uma vez que se deve garantir que o produto final possua vazios suficientes e boa condutividade hidráulica, parâmetro esse importante para o correto funcionamento do sistema de pavimento de concreto permeável (BATEZINI, 2013).

#### 2.4.3.2 Agregados

Conforme Tennis, Paul D.; Leming, Michael L.; Akers S, David J., (2004), as curvas granulométricas de agregados utilizadas nas misturas são normalmente do tipo uniforme (diâmetro único), em que o diâmetro máximo utilizado é de 19 mm. Para as curvas descontínuas, com variação do diâmetro do agregado, são comumente utilizadas graduações variando de 19 mm a 4,8 mm, 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm (BATEZINI, 2013).

Na FIG.04 são apresentadas três curvas granulométricas já empregadas na produção do concreto permeável, que são 19 mm a 4,8 mm, 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm, em que o diâmetro máximo de agregado utilizado é de 19 mm (LI, 2009).

FIGURA 04 – Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável



Fonte: Li, 2009 – Adaptado

#### 2.4.3.3 Aditivos

Da mesma maneira que os aditivos químicos são empregados no CCP, são também incorporados nas misturas para produção de concreto permeável. Aditivos retardadores de pega são adicionados à mistura para controle do tempo de pega que, no caso do concreto permeável, ocorre muito rapidamente. Aditivos redutores de água ou plastificantes também são utilizados, dependendo da relação a/c considerada (*PERVIOUS CONCRETE PAVIMENT*, 2011).

O aditivo mais utilizado é aditivo superplastificante pode ser aplicado com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade e o tempo de pega das misturas do concreto permeável, e sua proporção vai depender da relação a/c e das condições climáticas.

#### 2.4.3.4 Relação Água/Cimento

A relação água/cimento<sup>11</sup> (a/c) deve ficar entre 0,27 e 0,30, chegando, no máximo, a 0,40, dependendo do uso de aditivos. A relação entre resistência e quantidade de água no concreto permeável não é tão clara quanto em um concreto convencional, já que a presença dos vazios modifica a resistência geral da peça. A quantidade correta de água pode ser percebida quando a massa ganha certo brilho de umidade, sem ficar liquefeita (ACI, 2006).

<sup>11</sup> Relação entre o peso da água e o peso do cimento dentro de uma mistura.

## **2.5 Propriedades do Concreto Permeável**

### **2.5.1 Porosidade do Concreto Permeável**

Segundo Ospina e Erazo (2007), o concreto permeável deve ter granulometria adequada para garantir a abertura de poros que permita a passagem de água pelo material, preferencialmente, agregado graúdo com ausência parcial de finos. O valor elevado do índice de vazios atinge exatamente as características de resistência mecânica do material no estado endurecido. O material é considerado de baixa porosidade quando possui índice de vazios inferior a 15 %, enquanto que, um índice de vazios superior a 30 %, caracteriza um material altamente poroso. Tennis, Paul D.; Leming, Michael L.; Akers S, David J., (2004), sugerem que se utilizem índices de vazios na ordem de 20 % para garantir simultaneamente as boas características de resistência e de permeabilidade desse tipo de concreto.

### **2.5.2 Permeabilidade do Concreto Permeável**

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem de água através do material (TARTUCE, 1990). Nele, as taxas de fluxo típicas de passagem de água através do concreto permeável variam aproximadamente de 120 l/m<sup>2</sup>/min (2 mm/s) a 320 l/m<sup>2</sup>/min (5,4 mm/s) para 15% a 30% de porosidade respectivamente, que são valores muito superiores à capacidade de infiltração da maioria dos solos.

## **2.6 Métodos de Construção**

Segundo a norma ACI (2006), “concreto permeável”, sua construção deve ser realizada de acordo com os planos e especificações de projeto, que por sua vez devem ser detalhados e adequados para produzir um produto acabado de acordo com as necessidades do proprietário e as regulamentações locais. As construções devem iniciar com um planejamento completo para tratar questões como:

- a) Determinação da sequência de construção;
- b) Planejamento da entrega de uma quantidade certa de concreto;
- c) Planejamento da logística de acesso adequado para caminhões de concreto no local da construção;
- d) Seleção do equipamento ideal para o tamanho do projeto;

- e) Coordenação dos testes e inspeções de controle de qualidade;
- f) Testes para verificação se as misturas propostas funcionam como o esperado;
- g) Qualificação do construtor.

### 2.6.1 Preparação do Solo e da Sub-base

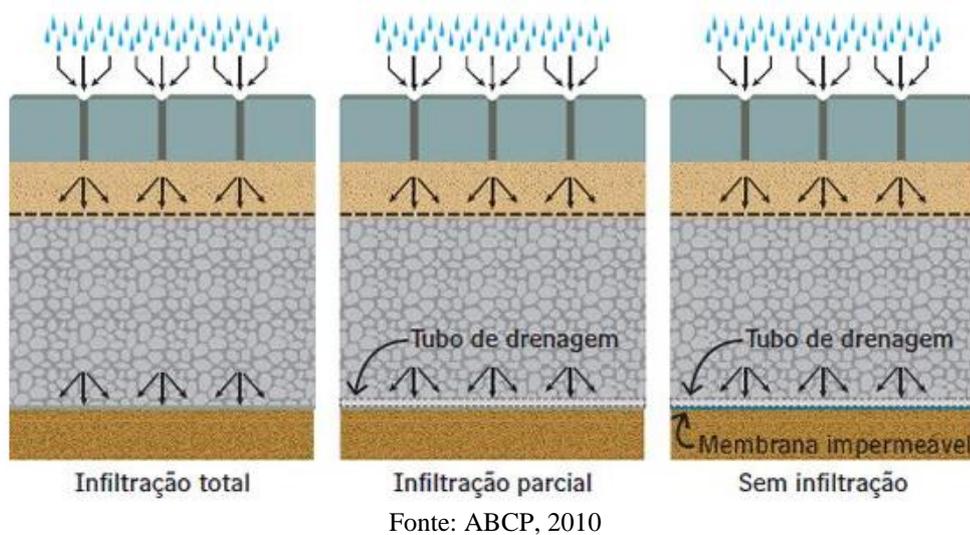
Um dos critérios chave para execução de pavimentos permeáveis é a uniformidade do subleito. Como no caso dos pavimentos convencionais, todas as irregularidades existentes devem ser retiradas procedendo-se com a compactação do solo. Sugere-se que o grau de compactação do subleito varie de 90% a 95% com relação ao peso específico aparente seco teórico de laboratório. Entretanto, deve-se considerar que com o aumento do peso específico do subleito, existe uma tendência de decréscimo de sua permeabilidade, situação esta possivelmente desfavorável, uma vez que o solo precisa apresentar um coeficiente de permeabilidade elevado para que o sistema de pavimento de concreto permeável seja funcional e efetivo, isso se o sistema projetado depender da infiltração total da água no solo (BATEZINI, 2013).

Uma vez que o concreto permeável contém baixa relação a/c e elevado índice de vazios, deve-se tomar cuidado para que o pavimento não perca água prematuramente. Dessa maneira, o subleito necessita estar pré-umedecido (evitando excesso de água) para que a água da superfície inferior do concreto não seja removida rapidamente de sua estrutura, prejudicando o processo de hidratação do cimento. Este procedimento é considerado importante quando da execução de pavimentos convencionais, porém é ainda mais importante para o caso do concreto permeável, uma vez que este possui índice de vazios elevado, facilitando a fuga da água através de sua estrutura porosa, o que pode causar redução de sua resistência mecânica e durabilidade (BATEZINI, 2013).

Um solo uniforme é o mais adequado para se aplicar o concreto permeável. Por isso, qualquer irregularidade é eliminada, nivelando e compactando o solo. Quando existir a tubulação de drenagem, ela é feita conforme projeto e direcionada para uma caixa de detenção ou para sistema de drenagem (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Dependendo do caso, a água infiltrada no pavimento de concreto permeável vai para destinos diferentes. Para isso, existem três sistemas diferentes de infiltração (FIG.05):

FIGURA 05 – Tipos de sistemas de infiltração em pavimentos permeáveis de concreto



De acordo com Associação Brasileira Cimento Portland (ABCP, 2010), a escolha do sistema vai depender do grau de permeabilidade do solo e do risco de contaminação deste: no sistema de infiltração total, toda a água infiltrada é direcionada ao solo, que deve ter a capacidade de receber esta água; no sistema de infiltração parcial, existe um tubo de drenagem para complementar a drenagem do excesso de água; já o sistema sem infiltração é utilizado quando há risco de contaminação ou a permeabilidade do solo é muito baixa. Nesse caso, é utilizada uma membrana impermeável e toda a água infiltrada é direcionada a um sistema de drenagem através do tubo de drenante.

### 2.6.2 Procedimentos de Mistura

É necessário ter um rígido controle nas proporções dos materiais. Apesar de se conseguir um controle na fabricação do concreto permeável quando usinado, algumas pequenas correções como adições de aditivos para retardar o tempo de pega, podem ser necessárias na chegada ao canteiro (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Na confecção da mistura utilizam-se os mesmos equipamentos do concreto convencional. Segundo *Schaefer et al.* (2006), onde estudaram diferentes processos de mistura para confecção do concreto permeável e concluíram que a ordem de mistura dos componentes altera as características do produto final e estabeleceram então um procedimento pelo qual foi obtido um material com melhores propriedades mecânicas e hidráulicas. Este procedimento está apresentado a seguir (BATEZINI, 2013):

- Adicionar todo o agregado na betoneira com mais 5% do peso total do cimento;

- Misturar por 1 minuto;
- Adicionar o restante dos materiais;
- Misturar por 3 minutos;
- Deixar a mistura em repouso por 3 minutos e
- Misturar por mais 2 minutos.

### 2.6.3 Transporte

O concreto permeável pode ser transportado em caminhões betoneira. Entretanto, por ser uma massa mais grossa, ela pode apresentar maior demora em descarregar. Devido ao baixo índice de água, ele tem um tempo para transporte curto, em torno de uma hora, chegando há uma hora e meia com o uso de aditivos químicos. Importante lembrar que o concreto permeável não é bombeável (POLASTRE; SANTOS, 2006).

### 2.6.4 Lançamento

Durante o tempo que a mistura fica exposta no ar a mesma está perdendo água necessária para a cura. A secagem da pasta do cimento pode levar a uma falha na superfície do pavimento. Todas as operações de lançamento devem ser planejadas e todos os equipamentos necessários devem estar disponíveis para que se possa fazer uma rápida aplicação e compactação, sendo iniciada imediatamente a cura do pavimento (HOLTZ, 2011).

O lançamento do concreto permeável deve ser feito o mais rápido possível do local de aplicação, pois, o concreto permeável tem pouca água na sua mistura (FIG.06). Isto é comumente feito por uma descarga direta da rampa do caminhão de concretagem na sub-base. Para disposições onde o misturador não alcança a forma, ou para minimizar as chances de comprometer a concretagem da sub-base, uma esteira pode ser utilizada. Como o concreto permeável é tipicamente seco, com *slump* abaixo de 20 mm, o bombeamento não é recomendado. Após a deposição, o concreto permeável deve ser espalhado com um ancinho, ou com qualquer outra ferramenta de mão (HOLTZ, 2011).

FIGURA 06 – Procedimento de lançamento do concreto permeável e nivelado com régua vibratória



Fonte: YOUNGS, 2005

Segundo o ACI, o concreto permeável deve ser bem compactado para assegurar sua resistência e integridade estrutural após a retirada das fôrmas, mas não muito para não comprometer a sua permeabilidade.

Um rolo compressor pequeno, ou customizado, pode ser utilizado para acabamento em áreas mais estreitas. Rolos compressores muito pequenos, todavia, não são recomendados para grandes áreas, pois a operação vai demandar um grande tempo, podendo comprometer a eficiência de compactação do pavimento (FIG.07).

FIGURA 07 – Rolo compressor usado na pavimentação com concreto permeável



Fonte: Norma do ACI 522R, 2006

Como o concreto permeável retrai menos que o concreto convencional, espaçamentos maiores entre as juntas são usualmente utilizados. A *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA, 2004) recomenda que os comprimentos de placa máximos não ultrapassem seis metros, apesar de Tennis, Paul D.; Leming, Michael L.; Akers S, David J., (2004), afirmem que espaçamentos inferiores a treze metros já são suficientes para

prevenção de trincas de retração. Na FIG.08 é apresentado o rolo utilizado para fazer as juntas de dilatação efetuadas no concreto permeáveis.

FIGURA 08 – Rolo utilizado para fazer as juntas no concreto permeável



Fonte: YOUNGS, 2005

#### 2.6.5 Cura e Consolidação

Para o processo de cura, o pavimento precisa ser coberto com uma manta de polietileno que é a mais eficiente para evitar a perda de água, comprometendo os seus processos de hidratação, como apresentado na FIG.09. O tempo de cura do concreto permeável, sem que qualquer veículo passe sobre ele, deve ser de, no mínimo sete dias. Entretanto, para que o concreto permeável atinja o máximo de resistência à compressão, é fundamental um período de até 28 dias (*PERVIOUS CONCRETE PAVIMENT, 2011*).

FIGURA 09 – Manta de polietileno utilizada para proteção do concreto permeável contra perda precoce de água



Fonte: *Pervious pavement, 2011*<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup>Disponível em: <https://www.perviouspavement.org>, 2011>. Acesso em: 10 de set. 2016. *Pervious pavement*= pavimento permeável.

## 2.7 Método de Dosagem

Foi realizada a pesquisa bibliográfica, constatado a existência de diversos procedimentos e métodos para o cálculo das dosagens do concreto permeável. As dosagens normalmente são realizadas por método empírico, produzindo traços diferentes entre si, observando o comportamento das misturas. Sendo a mistura que representa o melhor comportamento é reproduzida e os resultados de resistência obtidos são plotados em um gráfico exponencial, conhecido como curva de *Abrams*<sup>13</sup> (a/c x resistência).

## 2.8 Aplicações

Os concretos permeáveis podem ser utilizados para um número surpreendente de aplicações. Entre elas, destacam-se:

- Calçadas;
- Estacionamentos;
- Ruas de baixo tráfego;
- Parques, praças, pátios;
- Residenciais (área externa);
- Quadras de tênis;
- Campos de golf;
- *Decks* de piscinas;
- Estabilização de encostas;
- Estruturas hidráulicas;
- Estufas de plantas;
- Como barreiras acústicas (possui boas propriedades acústicas) (POLASTRE; SANTOS, 2006).

A FIG.10 mostra um dos exemplos de utilização do concreto permeável aplicado em estacionamento.

---

<sup>13</sup> É curva de correlação do fator água/cimento (a/c) em função de uma dada resistência a compressão do concreto para uma determinada idade.

FIGURA 10 – Exemplo de estacionamento feito pelo concreto permeável



Fonte: POLASTRE; SANTOS, 2006

Todas estas aplicações tiram vantagens das características do material. Entretanto, para chegar a estes resultados, detalhes da composição e a aplicação devem ser planejados e executados com muito cuidado (POLASTRE; SANTOS, 2006).

## 2.9 Manutenção

A maioria de pavimentos em concreto permeável exige pouca manutenção, que consiste, em primeiro lugar, em prevenir obstruções dos vazios. É interessante preparar o local antes da construção, para evitar que fluxos de águas externos carregados de sujeira possam entupir o pavimento. Para a limpeza, pode-se aspirar anualmente, ou, em casos mais exigentes, utilizar mangueiras com água pressurizada para desobstruir as cavidades (POLASTRE; SANTOS, 2006).

Os problemas de obstrução podem ocorrer em função de detritos (grama, folhas e outros) que se infiltram nos espaços vazios e impedem a permeabilidade, diminuindo a sua utilidade. Na FIG.11, pode se visualizar o procedimento utilizado na prevenção de entupimentos com a execução de limpeza do entorno de via em concreto permeável.

FIGURA 11 – Limpeza do entorno de via em concreto permeável



Fonte: PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT, 2012

Balades, J. D.; Legret, M.; Madlec, H, (1995), sugeriram, em sua pesquisa, que a profundidade do entupimento é limitada aos primeiros centímetros do concreto permeável, comparando quatro tipos de métodos de limpeza, que foram: umedecimento do local seguido por varrimento, varrimento com aspiração, aspiração apenas e água de alta pressão jorrada. Os resultados indicaram que os dois últimos métodos poderiam recuperar 100 % da taxa de infiltração inicial. A FIG.12 ilustram a manutenção realizada, aplicando-se o último método sugerido por Balades, J. D.; Legret, M.; Madlec, H, (1995), em um pavimento piloto de concreto permeável.

FIGURA 12 – Limpeza com água de alta pressão jorrada em pavimento piloto de concreto permeável



Fonte: LAMB, 2005

Segundo Kuang *et al.* (2007), a permeabilidade em pavimentos de concreto permeável desse tipo tende a diminuir com o passar do tempo, sendo que procedimentos de manutenção e de restauração da capacidade permeável devem ser executados com frequência máxima de seis meses.

## 2.10 Durabilidade

A durabilidade dos pavimentos de concretos permeáveis é ainda, largamente discutida e pesquisada, sendo que não há dúvida de que ela está diretamente ligada aos cuidados tomados na execução, operação e manutenção do material (*MARMIER*, 1999; *ROMMEL et al.* 2001; *BRATTEBO*; *BOOTH*, 2003).

Os principais fatores que influenciam na durabilidade dos pavimentos permeáveis são:

- Rotina de limpeza;
- Restrições ao acesso de veículos pesados;
- Inspeção na execução e posteriormente à construção;
- Pré-tratamento do escoamento de outros locais;
- Controle de sedimentos durante a construção (*SCHUELER et al.*, 1992).

## 2.11 Vantagens

O concreto permeável possui várias vantagens, tais como (*HOLTZ*, 2011):

- Absorver menos radiação solar e facilitar a sobrevivência da arborização em áreas pavimentadas, por permitir a chegada de água e ar até às raízes;
- Colaborar para reduzir o problema das enxurradas urbanas, que levam uma enorme quantidade de resíduos e poluentes aos corpos de água;
- Permite a recarga do lençol freático;
- Melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo das encaminhadas para o sistema de drenagem;
- Reduz significativamente o volume de escoamento superficial;
- Controle de erosão do solo;
- Diminuição do ruído;
- Custos similares aos do pavimento de concreto convencional;
- Auxilia na redução do aquecimento terrestre, por permitir a troca de calor entre o subsolo e a superfície;
- É um material reciclável, podendo ser reaproveitado após o seu ciclo de vida (*HOLTZ*, 2011, p. 46).

- O pavimento de concreto permeável durante as noites chuvosas promove ofuscamento reduzido, quando relacionado com o pavimento de asfalto convencional (*SCHUELLER, 1987*);
- Economia em função de redução ou eliminação das guias e sarjetas e de sistema de drenagem (*SCHUELLER, 1987*);

Outras vantagens desse material pode colaborar para reduzir os efeitos de ilha de calor, o nome que se dá a um fenômeno climático que ocorre principalmente nas cidades com elevado grau de urbanização, favorecer a vegetação, evitar acidentes por escorregamento em superfícies lisas com acúmulo de água e reduzir o consumo de agregados e de cimento comparativamente aos concretos convencionais (*POLASTRE; SANTOS, 2006*).

Segundo também a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (*ABESC, 2011*), as vantagens podem ser classificadas em 2 grupos: ambientais e econômicas.

Dentre as vantagens ambientais estão: a redução de enxurradas causadas pelas chuvas, visto que a água infiltra, desaparecendo da superfície do pavimento; proteção de riachos e lagos, que não receberão um excessivo influxo de água nos momentos de chuvas intensas, nem receberão os poluentes carreados por ela, visto que estes serão filtrados pelo pavimento; restabelecimento do fluxo de água subterrâneo; os pavimentos de concretos permeáveis permitem a chegada de água e ar às raízes da vegetação.

Dentre as vantagens econômicas, podem ser citadas: elimina ou diminui a necessidade de sistemas de estancamento de águas de chuva, como os piscinões; permite um melhor aproveitamento dos terrenos, visto que as legislações das prefeituras exigem que uma parcela do terreno fique livre de impermeabilização ( pelo menos 15 a 30 %). Por exemplo, o município de Ubá exige que as propriedades tenham cerca de 20% de área permeável.

## **2.12 Desvantagens**

Entre as desvantagens existe o risco do aquífero ser contaminado, dependendo das condições do solo; como o pavimento é poroso, ele pode tornar-se obstruído, se não for adequadamente instalado ou mantido; devido a pouca experiência dos engenheiros e dos contratantes com relação a esta tecnologia; existe um risco considerável de falha, devido à má construção (*ACIOLI, 2005*).

### **2.13 Análise de Custo**

Os custos dos principais materiais utilizados na fabricação do concreto convencional e do concreto permeável como por exemplo, agregado miúdo, agregado graúdo, cimento e areia sem considerar os aditivos químicos e a manta de polietileno utilizada no processo de cura, resulta que o valor do m<sup>3</sup> do concreto permeável é aproximadamente 8% menor que o custo do concreto convencional (IBRACON 55CBC, 2013).

### 3 CONCLUSÃO

Em consequência da necessidade de expansão das cidades é preciso analisar a impermeabilização urbana e a questão da gestão das águas pluviais que têm gerado sérios danos ao meio ambiente e à sociedade em geral.

A aplicação do concreto permeável nos centros urbanos é uma alternativa de alívio para o sistema de drenagem, sendo uma construção ecologicamente correta e viável, buscando uma melhor interação entre sociedade e meio ambiente.

É um material de alto índice de vazios, sendo considerado uma opção de drenagem das águas pluviais no local. Porém, ainda é pouco utilizado no Brasil, mas enquanto em outros países como, por exemplo, os EUA, Alemanha, França e entre outros, já é muito empregado.

O concreto permeável pode ser uma alternativa viável, se comparado ao concreto convencional, pois o seu custo é menor e os gastos com manutenção são baixos. Sua utilização gera benefícios econômicos e ambientais, como a redução de equipamentos hidráulicos necessários para captação de água pluvial. Além disso, a pavimentação realizada com o concreto permeável auxilia a infiltração das águas pluviais no solo e contribui para o reabastecimento dos lençóis freáticos. Também contribui para a diminuição das ilhas de calor formadas pela absorção de energia solar provocada pela pavimentação convencional e a diminuição dos ruídos produzidos pelo tráfego. Com base nessas informações, conclui-se que o concreto permeável é um sistema de pavimentação bastante eficiente e pretende-se, através de constantes estudos no campo da sustentabilidade, promover sua adoção apesar de ainda não ser um sistema amplamente difundido no Brasil, pela carência de incentivo e execução dos gestores públicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ACI COMMITTEE 522. **522R-10 Report on Pervious**. 2010, 38p.

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimento permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI – 522R-06**. Pervious concrete. Michigan, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC, 2011). Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-concreto-permeavel>> Acesso em: 5 Set. 2016.

*Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)*, 2010, **Melhores Práticas Pavimento Intertravado Permeável**. 1 ed. São Paulo, ABCP.

AZAÑEDO, W.H.M., HELARD, C.H., MUÑOZ, R.G.V., **Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la Ciudad de Cajamarca**, Universidade Nacional de Cajamarca, 2007.

BALADES, J. D.; LEGRET, M.; MADLEC, H. Permeable pavements: pollution management tools. **Water Science and Technology**: a journal of the International Association on Water Pollution Research, v. 32, n. 1, p. 49-59, Jan.1995.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S., **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**: Porto Alegre: ABRH, 2ª edição, p. 318, 2011.

BATEZINI, R.. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**, Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar, **Concreto Armado**: Eu Te Amo. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. V. 1.

BRATTEBO. B.; BOOTH, D. 2003. **Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems**. Water Research 37 (2003) 4369-4376.

CARVALHO, José Camapum de; LELIS, Ana Cláudia. **Cartilha de Infiltração – Volume 2**. Série Geotécnica UnB. Brasília, 2010.

DELLATE, N.; MRKAJIC, A.; MILLER, D. I. **Field and Laboratory Evaluation of Pervious Concrete Pavements**. Transportation Research Record: Journal of the

Transportation Research Board. v. 2113, p. 132 – 139, Nov. 2009.

GHAFOORI, N.; DUTTA, S. **Laboratory Investigation of Compacted No-fines Concrete for Paving Materials**. Journal of Materials in Civil Engineering, V.7, No. 3, p. 183-191, 1995.

HÖLTZ, Fabiano da Costa. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO (IBRACON), 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (CBC, 2013). Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/283796373\\_Estudo\\_do\\_comportamento\\_de\\_elementos\\_de\\_drenagem\\_confeccionados\\_em\\_concretos\\_permeaveis](https://www.researchgate.net/publication/283796373_Estudo_do_comportamento_de_elementos_de_drenagem_confeccionados_em_concretos_permeaveis)> Acesso em: 13 Out. 2016.

KAJIO, S.; TANAKA, S.; TOMITA, R.; NODA, E.; HASHIMOTO, S. **Properties of Porous Concrete with High Strength**, Proceedings 8<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Lisboa, p. 171-177, 1998.

KUANG, X.; KIM, J. Y.; GNECCO I.; RAJE, S.; GAROFALO, G.; SANSALONE, J. J. **Particle Separation and Hydrologic Control by Cementitious Permeable Pavement**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. v. 2025, p. 111–117, Jan. 2007.

LAMB, G. S.. **Desenvolvimento e análise do desempenho dos elementos de drenagem fabricados em concreto permeável**, Dissertação de pós-graduação apresentado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LI, J. **Mix Design of Pervious Recycled Concrete**. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance, and Testinf of Pavements. V. 195, n. 15, p. 103–108, Ago. 2009.

MARMIER, F. 1999. **Structures reservoirs- Bilan de dix ans à Rezé**. RGRA N° 771.  
ROMMEL, M.; RUS, M.; ARGUE, J.; JOHNSTON, L.; PEZZANITI, D. 2001. **Carpark with “1 to 1” ( impervious/permeable) paving: perfomance of “Formpave” blocks**. NOVATECH'2001. 807-814.

National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). 2004. **Freeze-Thaw Resistance of Pervious Concrete**. Silver Spring, MD: NRMCA.

OLEK, J.; WEISS, W. J.; NEITHALATH, N.; MAROLF, A.; SELL, E.; THORNTON, W. D. **Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials**. Final Report SQDH 2003-5 Center of Advanced Cement Based Materials, Purdue, 2003.

OSPINA, C. M. M, ERAZO, C. H. B. Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto **poroso en los pavimentos según El tipo de granulometría**. Medellín, 2007.

PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT, 2011. Disponível em: <<http://www.perviouspavement.org>> Acesso em: 24 Set. 2016.

PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT, 2012. **Applications, Benefits, Construction, Desing, Engineering Properties, Inspection and Maintenance, Materials and Mix Design, Performance, Resources**. Disponível em: <<http://www.perviouspavement.org>> Acesso em: 24 Set. 2016.

POLASTRE B.; SANTOS L. D. **Concreto Permeável**. 2006. Universidade de São Paulo, 2006.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates**. Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006.

SCHUELER, T.; KUMBLE, P. A.; HERATY, M. A. 1992. **A current assessment of urban best management practices - Techniques for reducing non-point source pollution in the coastal zone**. U. S. Environmental Protection Agency. Washington, DC.

SCHULLER, T.; 1987. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**.

TARTUCE, R. GIOVANETTI, E. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo. Pini/IBRACON, 1990.

TENNIS, Paul D.; LEMING, Michael L.; AKERS, David J.; *Pervious concrete pavements*, EB.302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, e National Ready Concrete Association, Silve Spring, Maryland, USA, 2004, p. 36.

TUCCI, C. E. M. Parâmetros dos hidrogramas unitário para bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n.2, p. 195-199, 2003.

YOUNGS, A. **Pervious Concrete: It's for Real**. Presentation at the Pervious Concrete and Parking Area Design Workshop, Omaha, NE, 2005.