O USO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL COMO MEDIDA AUXILIAR NA DRENAGEM DAS CIDADES

ARTIGO DE REVISÃO

ABREU, Rafael Silva Andrade de ¹

MIRANDA, Thiago Variz ²

ABREU, Rafael Silva Andrade de. MIRANDA, Thiago Variz. **O uso do pavimento permeável como medida auxiliar na drenagem das cidades.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 04, Vol. 03, pp. 52-74. Abril de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-permeavel>

RESUMO

As pavimentações têm apresentado alguns problemas, como as águas pluviais, qualidade da pavimentação, sobrecargas dos veículos e espessuras insuficiente para construção do pavimento, esses problemas afetam principalmente os grandes centros urbanos. Desse modo, os pavimentos permeáveis tornam-se uma alternativa adequada para o controle do escoamento de águas superficiais. Com base no contexto apresentado, o presente trabalho possui o objetivo de apresentar e demonstrar a utilização da pavimentação permeável e as vantagens obtidas com sua prática. A justificativa de realização da presente pesquisa tem em vista que o Brasil ainda conta com um sistema tradicional de drenagem que consiste em escoar a água das chuvas que acumulam sob os pavimentos para sistemas auxiliares como bueiros e quando acontecem precipitações em grandes quantidades o escoamento tornam-se

¹ Graduando em bacharel em engenharia civil.

² Doutorado em andamento em Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil. Especialização em andamento em Engenharia de Segurança do Trabalho. Graduação em Engenharia Civil.

ineficientes devido a defasagem desses sistemas. A metodologia utilizada no trabalho foi a realização de um levantamento exploratório por meio da bibliografia utilizando as bases de dados e compilando as informações de teses, publicações, artigos, livros, dissertações e revistas para coletar informações e desenvolver o conteúdo utilizado na presente pesquisa. Com base no conteúdo apresentado é possível concluir que o pavimento permeável é uma solução para os problemas de grande volume de precipitação e isso pode ser praticado através do concreto asfáltico poroso.

Palavras-chave: Pavimento permeável, concreto asfáltico poroso, drenagem urbana.

1. INTRODUÇÃO

A área de infraestrutura, por abranger uma complexidade muito maior que projetos usuais da engenharia, demonstra a necessidade de planejamento e um bom projeto realizado. Utilizando estes parâmetros a possibilidade de atender a demanda necessária pode satisfazer o crescimento populacional abrangendo a estrutura das cidades resolvendo o problema que pode vir a acontecer. Entretanto, a área de infraestrutura é muito precária no país e a ocorrência de problemas neste setor é algo bastante comum, e impacta de forma muito negativa a população vigente desta área urbana, principalmente quando relacionado as estradas urbanas. (HOGAN, 1993)

As pavimentações nas vias urbanas brasileiras estão em constantes necessidades de melhorias, sendo para facilitar a locomoção de pessoas ou transporte de produtos, mesmo com as melhorias o sistema de pavimentação tem apresentado alguns problemas, como das águas das chuvas, qualidade da pavimentação, sobrecargas dos veículos e espessuras insuficiente para construção do pavimento esses problemas afetam principalmente nos grandes centros urbanos, e diante desse contexto, a pavimentação permeável torna-se uma alternativa adequada para o controle do escoamento de águas superficiais.

A justificativa, então, da presente pesquisa tem em vista que é necessário, as realizações de soluções que são desenvolvidas na área da engenharia, para que esta ocorrência seja mitigada ou até evitada. Uma solução que se apresenta relevante para

as estradas e pavimentos e que consegue atuar sobre a drenagem, são os pavimentos permeáveis. Os pavimentos permeáveis utilizam, métodos técnicos para a pavimentação de estradas permitindo a infiltração de água sobre toda a área do pavimento, determinando assim efeitos muito influenciadores sobre o volume de água fluvial, relacionando a drenagem urbana viabilizando um procedimento essencial em locais com volumes consideráveis de precipitação (ACIOLI, 2005).

Tendo em vista os problemas com drenagem urbana nas cidades e a crescente urbanização, a infraestrutura urbana não terá a capacidade de suportar o grande volume de precipitações e de água sobre as ruas e cidades, resultando nos problemas citados. Tendo em vista este contexto, quais vantagens e benefícios o asfalto permeável pode trazer nessa perspectiva?

O objetivo do presente trabalho é realizar uma análise da utilização do pavimento asfáltico e as vantagens obtidas com sua prática. Para atingir o objetivo do trabalho, foi realizado a sua divisão em três partes agregando as informações e conteúdo para as considerações finais, primeiramente será introduzido o pavimento utilizado em estradas e rodovias e os seus detalhes construtivos. Na sequência é contextualizado o pavimento permeável demonstrando sua funcionalidade e as propriedades desse método, e na terceira parte é detalhado a utilização do concreto asfáltico poroso como um dos métodos promissores para utilização como pavimento permeável.

Para atingir os objetivos e propósitos apresentados no presente trabalho, a metodologia realizada se fundamentou na pesquisa bibliográfica, tentando a partir das referências pesquisadas classificar e mensurar os dados obtidos. A revisão bibliográfica, ou revisão da literatura, é uma análise crítica, meticulosa e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento (TRENTINI; PAIM, 1999). As fontes de informações para análise: Portal de Periódicos CAPES/MEC, Biblioteca Digital da Unicamp, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP, esses auxiliaram como mecanismo para o angariamento de informações, a partir dos assuntos: Pavimentos urbanos; Pavimento permeável; Concreto asfáltico poroso. Após a sondagem das informações foi realizado a verificação do conteúdo obtido e

dissociado aqueles para referencial e utilizado no emprego do trabalho, selecionando as informações principais.

2. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E DRENANTES

2.1 PAVIMENTOS E ESTRADAS

Para um melhor acesso a lugares mais viáveis para a sobrevivência, como áreas cultiváveis e com escassez de recursos naturais, o homem acabou criando o que se denomina de estrada. Os primeiros relatos de realização são da China, em seguida os romanos aperfeiçoaram o método de pavimentar as estradas, criando alternativas para melhor utilização, quanto sua durabilidade e acessibilidade (BALBO, 2007). Os egípcios também são povos importantes quanto ao aperfeiçoamento de pavimentos, uma vez que eles estão entre os primeiros a criar caminho aberto as primeiras vias, com criação de drenos laterais, para que além de vantajosas melhorias, funcionasse também de maneira estética, para possíveis desfiles militares, religiosos, dentre outros (MOTTA et al., 2008).

As técnicas eram realizadas, em primeiro momento, com a escavação de todo perímetro do terreno, a fim de encontrar material duro ou consistente. Quando escavação era realizada em vales, que apresentam solo menos resistente, também era feito a cravação de estacas de madeira, nivelamento e compactação (BALBO, 2007).

Após compactação, executava-se o lastro de pedra, com intuito de melhorar as condições de apoio para as futuras camadas superiores. Em seguida, a camada superior era executada, feita com tijolos, pedras, ladrilhos e pedaços de ferro. Os mesmos eram aglomerados por toda a pasta de cal, areia argila e pozolana (cinza volante vulcânica natural) (BALBO, 2007). A camada seguinte era realizada com pedras menores, sua compactação vinda logo depois, com função de impermeabilização do pavimento.

Estas técnicas construtivas foram aprimoradas e estendidas por dois mil anos, levando assim seu uso para outros continentes além da Europa. Tinham por objetivo interligar diversas cidades, auxílio no aproveitamento de recursos disponíveis em regiões mais afastadas, grande escoamento de bens agrícolas e a criação de caminhos estáveis para a movimentação humana (MOTTA et al., 2008).

Define-se por pavimento toda estrutura construída sobre terraplanagem, com objetivo de melhorar a dirigibilidade dos transeuntes através de uma superfície rígida que suporta esforços verticais e horizontais. Existem dois tipos de pavimentação, a pavimentação de concreto, conhecida como pavimento rígido e a pavimentação asfáltica, denominada flexível (BERNUCCI; MOTTA; CERATTI, 2010). De acordo com o DNIT (2006), os pavimentos podem ser classificados em três tipos, sendo eles: Pavimento Flexível, Pavimento Rígido e Pavimento Semirrígido.

O pavimento é uma junção de camadas aplicadas que forma a superfície por onde trafegam os veículos e cada uma dessas precisa ser corretamente projetada para se adequar aos agregados utilizados e a cargas dos veículos, dessa forma sua estrutura necessita ser bem realizada e precisa, como determina as normas regulamentadoras.

Segundo a NBR 7207 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) tem-se a seguinte definição:

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a: Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 02).

Sendo assim, a estrutura constituída por camadas aplicadas de diferentes tipos de materiais compactados denomina-se pavimento. Sua elaboração tem por objetivo atender toda a parte estrutural e dinâmica do tráfego, de forma mais durável e no

menor custo possível. No sentido estrutural, pode-se dizer que é elaborado para transmitir esforços de forma a atenuar pressões sobre as camadas abaixo que são menores.

Cada camada do pavimento tem uma função específica, as quais devem proporcionar ao usuário do veículo condições adequadas de suporte de rolamento em qualquer circunstância climática, esse pavimento deve transmitir segurança no momento de seu uso (MARQUES, 2006).

2.2 PAVIMENTO PERMEÁVEL

O conceito pavimento geralmente se refere a qualquer tratamento de superfície ou revestimento que deve suportar qualquer tipo de movimentação de tráfego. O revestimento permeável possui uma porosidade e permeabilidade significativamente altas para influenciar o escoamento interno e tem um impacto positivo no meio ambiente. Pavimentos com baixo índice de vazios e baixa porcentagem de infiltração de água não são considerados porosos (VIRGILIIS, 2009).

Pavimentos permeáveis são superfícies de drenagem que realizam a penetração, armazenamento e infiltração de parte ou de toda a água do escoamento em superfície em uma camada de depósito temporário no solo, que é gradualmente absorvida a partir do próprio solo (ACIOLI, 2005). Os pavimentos permeáveis incluem asfalto e concreto porosos, blocos e muitos outros sistemas construtivos que podem ser usados nas áreas urbanas mais comuns, como calçadas, estacionamentos, praças, parques e áreas abertas, como estradas locais e tipos de acessos (GAL, 2013). A Figura 1 demonstra um exemplo de uso desse tipo de pavimento.

Figura 1 – Blocos de concreto poroso e permeável para pavimento em estacionamento.

Fonte: ABCP (2013).

Os pavimentos são basicamente constituídos dos mesmos materiais, apesar dos pavimentos permeáveis possuírem conotações diferentes. Na Tabela 1 a seguir é demonstrado os elementos e materiais empregado nos pavimentos permeáveis, no entanto os pavimentos permeáveis não possuem todos os componentes demonstrados, a resolução se demonstra melhor quando realizada a combinação perfeita dos componentes para atender à necessidade.

Tabela 1 - Componentes e elementos utilizados em pavimentos permeáveis.

Terminologia aplicada a Pavimentos Porosos	
Terminologia	Definição
Camada de Base	Camada colocada abaixo da superfície de revestimento para aumenta a espessura do pavimento. Pode ser simplesmente chamada de Base.
Camada	Espaço ocupado entre dois tipos de materiais na estrutura do pavimento.
Camada Filtrante	Qualquer camada entre outras ou entre o pavimento e o subleito que detenha a migração de partículas para os vazios da camada subjacente.
Geomembrana	Tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizada em sistemas impermeabilizantes.
Geotextil	Manta não-tecida de filamentos de polipropileno que possibilita a livre passagem das águas de infiltração para o meio drenante.
Pavimento	Qualquer tratamento ou cobertura na superfície que suporte qualquer tipo de tráfego.
Sobrecamada	Camada aplicada sobre qualquer tipo de pavimento preexistente
Estrutura do Pavimento	Combinação de camadas de materiais colocadas sobre o subleito que possibilitam o suporte mecânico do pavimento.
Reservatório	Qualquer parte do pavimento com capacidade de estocagem o condutividade de água. O reservatório pode ser sobreposto ou combinado com outras camadas do pavimento. Também chamado de Reservatório de Base, Camada Drenante ou Colchão drenante.
Sub-base	Camada colocada abaixo da Base a fim de aumentar a espessura do pavimento.
Subleito	Solo natural ou reforçado abaixo da estrutura do pavimento, responsável pela absorção em última instância dos carregamentos.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a carga de tráfego.

Fonte: Virgiliis (2009).

Como contextualizado, o pavimento permeável se demonstra como uma nova alternativa para estradas, e sua realização é simples, os materiais utilizados em sua maioria são os mesmo que o pavimento tradicional asfáltico e como vantagem pode ajudar nos problemas tidos com drenagens em grandes centros urbanos.

2.2.1 PROPRIEDADES DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

A formação do pavimento permeável é constituída de camadas de agregados de diferentes granulometrias que possibilitam maior volume de vazios com capacidade

de acúmulo de água, é justamente nesse ponto que esse tipo de pavimento se destaca em relação aos convencionais (BERNUCCI; MOTTA; CERATTI, 2010). Embora seu custo seja mais elevado que o pavimento asfáltico convencional, sua velocidade de percolação é significativamente maior, quando comparado ao asfalto convencional molhado a água tende a desaparecer rapidamente sob esta superfície, gerando um custo benefício muito vantajoso (TOMAZ, 2009). Com base nesse contexto, esse tipo de pavimento permite uma drenagem superior das precipitações, minimizando os índices de enchentes. Isso por que, estrutura permeável desses pisos possibilita passagem de até 95% do volume de água que entra tendo velocidade de percolação variando de 0,2 a 0,9 metros por segundo, de acordo com o tipo de material (BALBO, 2007).

Abaixo, a Tabela 2 destaca alguns dos aspectos do pavimento permeável em comparação com os outros dois tipos mais utilizados, o concreto e o asfalto convencional.

Tabela 2 - Comparativo entre os tipos de pavimento.

Material Critérios	Asfalto Permeável	Concreto	Asfalto Convencional
Periodicidade de manutenção	Varia de acordo com o uso (6 meses a 2 anos)	6 meses a 2 anos	Depende do local
Custo de implantação	Médio	Médio	Médio
Custo de manutenção	Médio a alto	Médio a alto	Baixo
Tipo de uso	Todos, desde que com estrutura reforçada	Todos, desde que com estrutura reforçada	Todos

Capacidade de absorção	Boa	Boa	Nula
Acústica	Boa	Boa	Média

Fonte: Acioli (2005).

Vale salientar que segundo o American Concrete Institute – ACI, para que o pavimento seja reconhecido permeável ele deve dispor de cerca de 15% a 25% de lacunas em sua estrutura, valor significativo quando confrontado com os pavimentos convencionais, que possuem de 3% a 5% de espaços vazios na sua trama (ACI, 2010).

2.2.2 CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Os pavimentos permeáveis podem ser determinados como possuindo funções de reservatório, segundo Acioli (2005), o mesmo possui duas funções que determina a sua constituição:

- a) Função Mecânica: sobre o quadro estrutural que permite o realizar o carregamento determinado pelo tráfego de veículos.
- b) Função Hidráulica: relacionado ao armazenamento, que retém temporariamente a água através da porosidade dos materiais, seguido de drenagem e, se possível, pela penetração no solo do interior.

Os tipos de pavimento com funções voltadas para a drenagem urbana e pluvial (BAPTISTA, 2005) podem ser assim classificados:

- a) Pavimentos com revestimentos permeáveis: permitem que a água da chuva atinja as camadas inferiores da calçada e causem uma ligeira diminuição no escoamento superficial.

b) Pavimentos porosos para contenção: elas desempenham o papel de armazenar a precipitação temporária da água da chuva, ou seja, com escoamento local, ausente das funções de infiltração, elas são divididas em:

- Pavimentos de armazenamento porosos com infiltração direta, com superfícies permeáveis.
- Pavimentos porosos para contenção com infiltração indireta, com superfícies impermeáveis.

c) Pavimentos de infiltração porosa: desempenha duas funções diferentes, o armazenamento temporário e a penetração da água da chuva dividem-se em:

- Pavimentos de infiltração porosa com infiltração distribuída, com superfícies permeáveis.
- Pavimentos de infiltração porosa com infiltração local, com superfícies impermeáveis.

Para cada um desses diversos tipos de pavimentos tem uma certa estrutura determinada em relação ao seu uso.

Com relação a camada na superfície, o revestimento é impermeável, no caso de pavimentos convencionais novos, construídos em concreto de cimento Portland ou concreto asfáltico; semipermeável com relação aos pavimentos em paralelepípedos, calçamento poliédrico ou blocos de concreto, e, finalmente, permeável, em concreto asfáltico poroso tipo CPA, peças pré-moldadas de concreto poroso e blocos de concreto vazados (VIRGILIIS, 2009).

Ainda segundo Virgiliis (2009) A estrutura do pavimento não varia tanto do pavimento clássico, que geralmente consiste em pedra britada e aglomerante. O índice de vazios determina uma grande participação realização do armazenamento. A conexão da estrutura da calçada à base ou ao piso adjacente deve ser realizada com a instalação de revestimentos geotêxteis apropriados para garantir que a estrutura não esteja entupida e que a função de infiltração seja garantida. Quando uma vedação é necessária, como por exemplo os reservatórios, a conexão com a base não deve ser

realizada e se pode usar geomembranas ou folhas de plástico de espessura suficiente para impedir a entrada de água (FERGUSON, 2005).

2.2.3 FUNCIONALIDADE DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Segundo Ferguson (2005), é possível comparar a proporção de áreas cobertas com a área potencial de realização deste método, em alguns setores de uso para determinar a posição dos revestimentos dos pavimentos permeáveis.

A partir da verificação realizada por Cappiella e Brown (2001), é possível eleger áreas acessíveis para realização dos pavimentos permeáveis:

- a) Setores comerciais (estabelecimentos comerciais ou lojas) – A área de estacionamento é uma grande parte deste setor. Algumas vagas de estacionamento não recebem cargas significativas que podem afetar a estrutura, muitas delas estão sujeitas a tráfego leve e levemente médio, possibilitando estes pontos adequados para o uso do método.
- b) Setores de utilização predial (prédios de apartamentos) – Os lugares de estacionamento correspondem às áreas da estrada. As calçadas e a maioria dos estacionamentos têm um pequeno tráfego e uma pequena carga, e também são adequados para o uso de uma pavimentação permeável, mas as estradas podem receber diferentes tipos de carga que variam de lugar para lugar.
- c) Setores de uso residencial (casas) – a zona de estacionamento se refere a garagens e manobras de veículos; as estradas recebem apenas tráfego local e calçadas para os pedestres; Estes três tipos de pavimentos caracterizam-se por cargas baixas e cargas repetitivas estáticas ou dinâmicas, pelo que são adequados para a utilização de revestimentos permeáveis sem sérios problemas estruturais.

Como regra geral, os pavimentos são considerados estruturas que devem estar secas sem exposição à água. Portanto, utiliza-se sistemas que são impermeáveis, isto é, a umidade do solo é um aspecto não negativo na redução da capacidade de compressão mecânica da estrutura e do comportamento físico da camada de suporte

e que inclui a degradação do revestimento devido à formação de trincas e subsequente formação de vasos ou outras penetrações típicas de patologias de água na estrutura.

Os revestimentos permeáveis são usualmente ausentes dos métodos de impermeabilização porque, ao contrário das superfícies de pavimento convencional, eles têm a composição adequada a absorção de água e, portanto, hidratam as camadas inferiores do solo (ACIOLI, 2005). A execução de pavimentos permeáveis visa criar um incentivo para a drenagem das cidades. Como dispositivo de penetração, atua como um método alternativo para aumentar a permeabilidade da terra urbana e torna-se um meio de drenagem (VIRGILIIS, 2009).

Acontece, uma situação a ser estimada de modo que os órgãos determinados pela drenagem recomendam sistemas voltados a permeabilização da água ao contrário que órgãos estipulados pela pavimentação preferem preservar as camadas em um estado seco visando a estabilização estrutural e consequente aumento na capacidade de carga sobre o leito (VIRGILIIS, 2009).

2.2.4 CUSTO E BENEFÍCIO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

É importante destacar que o custo deste pavimento em relação aos convencionais é mais elevado por diversas razões. Dentre elas, existe uma necessidade de agregados de maior qualidade, utilização de ligantes modificados por polímeros para evitar a penetração parcial de tintas, por conta disso, o material utilizado para sinalização das vias também é diferente. Entretanto, os custos ambientais embutidos no uso desse pavimento, promovem uma redução considerável no impacto ambiental (BONAFÉ, 2016).

Consequentemente isso gera uma economia em gastos com reconstruções de perdas devido a enchentes, melhor aproveitamento da água de reuso, inclusive economia com os gastos no tratamento do esgoto, visto que acarreta em diminuição do volume de água lançada nas Estações de Tratamento de Esgoto por ligações clandestinas,

além de consequentemente, melhorias na saúde da população, impacto este devido a diminuição de enchentes (VIRGILLIS, 2009).

De acordo com Bonafé (2016), outro fator a ser considerado é a manutenção, os principais tipos de intervenção nesses pavimentos podem ser classificados em:

- Conservação, correção parcial ou total de deficiências, ou é feita a proteção nas estruturas do pavimento;
- Restauração, correção feita para proporcionar requisitos funcionais admissíveis por meio de intervenções, onde desempenho e a durabilidade sejam superiores ao investimento financeiro que foi feito no local com necessidade de um projeto de engenharia íntegro e consistente;
- Reconstrução, remoção total do pavimento presente, necessária quando os custos para a restauração são maiores que o da reconstrução do pavimento nela existente, quando não há confiabilidade no pavimento que está sendo restaurado, precisa ser alterado por mudanças no traçado da rodovia.

Para o pavimento permeável, a manutenção deve ser concebida como o agrupamento de serviços necessários para manter as características e funcionalidades necessárias para que o pavimento poroso cumpra seu papel de drenagem, absorção de ruídos, de deformações e de trincas ao longo do tempo. Segundo Acioli (2005), a periodicidade de manutenção para estes pavimentos gira em torno de 6 meses a 2 anos.

A formação de poças d'água indica um ponto de entupimento. Para a limpeza, deve-se evitar o uso de varrições que podem empurrar sujeiras finas para dentro dos poros, obstruindo-os, e aconselha-se uma rotina sucção a vácuo ou lavagem com mangueiras de alta pressão; A durabilidade do pavimento permeável vem sido muito estudada e está diretamente ligada a manutenção do dispositivo. A manutenção dada com o fim da vida útil envolve normalmente um processo de fresagem e substituição da camada danificada por uma nova (VIRGILLIS, 2009).

2.3 CONCRETO ASFÁLTICO POROSO COMO PAVIMENTO PERMEÁVEL

É a mistura realizada entre aglomerante betuminoso e agregados de geometria constante. Concreto asfáltico de forma geral é conhecidamente denominado como material relativamente pouco custoso e de várias funcionalidades (VIRGILIIS, 2009).

Concreto permeável é um concreto com um grande volume de vazios interconectados, feito com uma pequena quantidade de areia ou sem ela, possibilitando o fluxo de grandes volumes de água sem impedimentos. Quando usada como forma de pavimento, absorve a água da chuva e permite que ela penetre diretamente no solo, eliminando o sistema de drenagem público.

Conforme Baptista (2005), o uso de tecnologia de concreto asfáltico poroso é relativamente novo, já que o método tradicional do pavimento indica sua vedação. Desde o final dos anos 1970, na América do Norte e na Europa, a combinação de segurança no trânsito e capacidade de responder aos problemas hidrológicos causados pelo desenvolvimento urbano intensivo, levou a estudos experimentais que levaram ao uso operacional desde a década de 1980.

O uso de concreto permeável permite aumentar os leitos de água e reduzir a taxa e a quantidade de escoamento superficial da água da chuva. Além de que, permite um uso mais eficaz do solo, de forma que mitiga ou até mesmo elimina outras operações locais de drenagem, como pontos de retenção de água, valas, etc. (POLASTRE; SANTOS, 2006).

No concreto permeável, volumes determinados de água e cimento formam um espesso revestimento em torno dos grãos agregadas. Desta forma, se origina diversos vazios ligados, que determinam o componente permeável. Usualmente se consegue um índice de 15 a 25% de vazios e uma permeabilidade de água do valor de 200L/m²/min. A boa porosidade diminui a resistência mecânica do material em comparação ao concreto usual, de forma que ele não pode ser utilizado a qualquer tipo de tráfego, porém é adequado à maior fatia dos pontos de tráfego baixo ou pouca

intensidade (POLASTRE; SANTOS, 2006). A Figura 2 apresenta o pavimento permeável citado.

Figura 2 – Concreto asfáltico poroso aplicado a um estacionamento.

Fonte: ABCP (2013).

2.3.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES

Segundo Polastre e Santos (2008) o concreto poroso deve ter tamanho de grãos suficiente para garantir a abertura dos poros, o que permite que a água passe através do material, preferencialmente um grande agregado com ausência parcial de partículas finas. Deve ter uma alta porosidade de 15 a 20%, que é obtida limitando o conteúdo da mistura de 20 a 30% e uma resistência à compressão de 7 MPa após 28 dias.

A norma DNER 386/99 define Camada Porosa de Atrito (CPA) como mistura asfáltica porosa (entre 18 e 25% vazios) originada em usina a quente, constituída de material de enchimento (fíler), agregados e cimento asfáltico de petróleo alterado ou não por polímero SBS (estileno-butadieno-estileno), espalhado e comprimido a quente.

As propriedades do concreto com poros são definidas pela granulometria, da quantidade de cimento, da relação água e cimento e do índice de vazios, o grau de agregação é um dos aspectos que influenciam as propriedades do concreto, pois afeta a resistência e a permeabilidade, que são propriedades importantes para a porosidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto regular é um material necessariamente poroso devido à sua composição, já que é impossível preencher todas as cavidades do agregado com pasta de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

No concreto com porosidade se usa grãos do agregado que tenham uma distribuição de tamanho de partícula constante com materiais de pequenos diâmetros e dimensões (menos de 0,075 mm) para preencher as lacunas entre os grãos maiores, resultando em um maior volume de vazios e, resultante, na permeabilidade ao concreto.

Permeabilidade é uma propriedade que demonstra a possibilidade de passar água através de um material. Esta passagem é capaz de ser filtrada sobre pressão por difusão através de dutos delgados e por poros (POLASTRE; SANTOS, 2008)

A conexão entre os poros no concreto torna-o permeável à água. Esta é uma propriedade importante se exposta ao ar, ou um ataque agressivo de água ou tempo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Polastre e Santos (2008) verificaram a resistência à compressão e permeabilidade para diversos tipos de agregados e medidas. A rocha de que um grande agregado é obtido influencia a resistência a compressão, independentemente do seu grau. Isto pode ser analisado pela diferença na resistência à compressão, formato da partícula e estrutura agregada. Os autores também notam que partículas com alta absorção de

água não criam alta resistência, porque a suspensão em torno da unidade perde água e cria uma zona de transição ainda mais fraca.

Ainda segundo os autores, a quantidade de uso do mesmo tamanho dos grãos favorece a permeação unitária de partículas variando de 9,5 a 4,75 milímetros, o que leva a uma maior resistência à compressão e redução da permeabilidade do concreto com poros. O gradiente levará a uma diminuição na resistência à compressão e na resistência máxima à flexão da mistura. Se pode admitir que a adição de agregados finos tende a aumentar a longevidade do concreto poroso.

O uso de pequenos agregados aumenta a resistência, embora isso represente uma diminuição na propriedade de permeabilidade. A graduação fina entre 9,5 e 4,75 mm a cerca de 20%, o que garante um ligeiro comportamento de deterioração do concreto, ou seja, o concreto terá uma boa resistência e permeabilidade (POLASTRE; SANTOS, 2008).

Usualmente a resistência baixa à compressão é relacionada à alta característica da porosidade (POLASTRE; SANTOS, 2008). O concreto poroso com um agregado maior de 19 mm possui uma vantagem hidrológica, pois possui poros maiores e maior permeabilidade, menor encolhimento e fissuração, como o de diâmetro característico de 9,5 mm, mas tem menor resistência à compressão, pois possui menor área de superfície que o contato interno entre o agregado e a aglomerante de cimento.

2.3.2 PROCEDIMENTO DE CONSTRUÇÃO

O procedimento de construção da superfície porosa, não introduz variação relativa considerável com relação ao concreto convencional, exceto algumas peculiaridades (LIAN; ZHUGE, 2010).

Previamente a aplicação deste tipo de concreto é necessário realizar a impermeabilização da camada em superfície, para prevenir a infiltração de água na estrutura, tanto em execuções novas ou manutenções, por meio de uma imprimação

ou tratamento na superfície, que também precisa de preferência da alteração do aglomerante.

É importante ajustar o plano da superfície do que irá conceber concreto poroso para que não haja depressões mais profundas que 1 cm, evitando assim pequenas piscinas que permitam o acúmulo de água entre o novo pavimento e o solo existente. Pela mesma razão, a regularização deve fornecer um declive transversal adequado para o fluxo de água. Uma recomendação importante em relação ao projeto da seção transversal do piso neste tipo de revestimento é a criação de formas e dispositivos que proporcionam um fluxo rápido de água a partir do interior. Para este propósito, é possível implantar canais permeáveis, drenos subterrâneos ou simplesmente deixar o lado da camada sem obstruções (VIRGILLIS, 2009).

No que diz respeito a compactação, que deve ser o mais intenso possível, o uso de rolos vibratórios e pneus não é permitido.

As juntas devem ser concebidas de forma a garantir a continuidade transversal da permeabilidade e evitar interrupções no fluxo de água através do leito.

Segundo a recomendação da ABCP (2013), o concreto poroso como pavimento em projeto pode ser concebido em três formas;

a) Com infiltração total no solo como demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Projeto de concreto permeável com infiltração total no solo.

Fonte: ABCP (2013).

b) Com infiltração parcial no solo exposto pela Figura 4.

Figura 4 – Projeto de concreto permeável com infiltração parcial no solo.

Fonte: ABCP (2013).

c) Sem infiltração no solo, (ocorrendo drenagem total da água percolada, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Projeto de concreto permeável sem infiltração parcial no solo.

Fonte: ABCP (2013).

A partir do conteúdo exposto, é possível perceber como a simplicidade do material apresentado é nítida e sua execução em comparação ao pavimento convencional em asfalto, não é diferente, as camadas utilizadas na estrutura são as mesmas, então pelo processo de execução é possível verificar que sua realização é viável, uma análise relevante a confirmar a prática desse método é avaliando os seus custos, como apresentado a seguir.

2.3.3 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

O concreto como solução para pavimentos e com as propriedades demonstra-se muito vantajoso, devido as suas características, como segundo Castro (2005), podem ser:

- a) Minimização do fenômeno da aquaplanagem: a porosidade elimina a água da superfície do pavimento, para minimizar o fenômeno da aquaplanagem;
- b) Maior resistência ao derrapamento em estradas molhadas: O concreto poroso contém uma alta macro textura. Este componente faz com que o revestimento mantenha uma alta aderência do pneu e pavimento mesmo a alta velocidade;
- c) Reduzindo o borrifamento de água: a água penetra na camada de drenagem, eliminando o efeito das rodas de “spray” ao se mover;
- d) Reflexo da reflexão da iluminação do veículo: a remoção da película de água na superfície reduz o reflexo da luz, para melhorar a visibilidade e a segurança;
- e) Ruído reduzido ao dirigir: a capacidade de reduzir o nível de ruído da interação pneu e revestimento das misturas CPA, relaciona com volume de vazios, a distribuição de tamanho de partícula (por unidade localização à sua superfície e as características do diâmetro máximo do agregado, índice de forma angular, abrasão, porosidade, etc;
- f) Condutividade Hidráulica: a capacidade de facilitar rapidamente a passagem de água nas camadas inferiores do pavimento, dependendo dos vazios entre os grãos;
- g) Carregar o lençol freático: com as camadas de base e permitir que a sub-base cheio de água auxilie no escoamento acessível da água do nível do lençol freático para manter o nível e o volume da superfície da água;
- h) Armazenamento: se não existir a impermeabilização de água entre as camadas dos agregados de rolamentos, entre a subestrutura de vedação e a faixa. É possível o

armazenamento periódico e, logo após, os dispositivos de saída levarão ao fato de que a água acumulada será escoada para chegar ao sistema de esgoto da cidade.

Porém, por conter alta porosidade, o material asfáltico poroso possui algumas desvantagens, de acordo com Campos (2012) mesmo autor:

i) Colmatação: o bloqueio ocorre mais lentamente do que o volume de vazios. Para obter uma boa drenagem, é necessário que a mistura contenha pelo menos 20% de vazios;

j) Duração: auto volume de vazios contribuem para a oxidação e desagregação devido às condições climáticas. Um alto índice de vazios pode contribuir para danificar com a água, por exemplo, a desagregação de agregados em caso de fraca adesão entre o agregado e o aglutinante. O processo de fratura contrasta fundamentalmente o aumento na espessura do revestimento estrutural que cobre a mistura asfáltica usando o polímero modificado;

k) Custo: pela presença de asfalto modificado por polímero, a necessidade de agregado de qualidade superior, o maior gasto com a sinalização horizontal, e necessidade de camada de ligação de boa qualidade, que podem chegar a dobrar o custo do revestimento poroso em relação a um revestimento convencional.

A Tabela 3 demonstra os custos tido com o concreto permeável ao longo de sua vida útil de 15 anos.

Tabela 3 - Custos do concreto permeável.

Custos do Concreto Asfáltico Poroso Permeável	
Processo	Custo (R\$)
Implantação	26,41 / m ²
Manutenção	1,44 / m ²
Manutenção Preventiva (cada ano)	1,00 / m ²
Recuperação (a cada 5 anos)	10,00 m ²
Vida Útil do Material: 15 Anos	

Fonte: Polastre e Santos (2006).

Com base na análise técnica realizada sobre as propriedades do pavimento, visando a sua execução e custo em uma vida útil para o pavimento em 15 anos como demonstra o Quadro 3, o material do concreto asfáltico poroso se mostra como uma alternativa interessante se comparada ao pavimento tradicional asfáltico.

3. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo de analisar a utilização do pavimento asfáltico e as vantagens obtidas com sua utilização, através do desenvolvimento da pesquisa bibliográfica e da compilação das informações levantadas foi possível abranger o assunto e apresentá-lo de acordo com os objetivos propostos.

Na busca de soluções, o tradicional problema urbano de drenagem urbana vem sendo referenciado com a utilização de métodos compensatórios, ambientalmente mais sustentáveis. Nesse contexto, a pavimentação com o uso do concreto poroso vem adquirindo importância como uma maneira para a redução dos problemas de drenagem nas cidades.

Como visto, a pavimentação permeável, demonstra uma solução bastante interessante relacionada ao que se refere aos problemas identificados nas cheias e enchentes, a partir deste método torna-se possível a infiltração da água pluvial de volta para os lençóis freáticos.

Além da vantagem ambiental e urbana, a pavimentação permeável possui diversas vantagens na sua utilização, que se relacionam com o uso do pavimento com relação aos veículos automotores como demonstrado no presente trabalho. Ao que rege este método é a determinação do procedimento de pavimentação permeável, no qual foi escolhido o concreto poroso.

O concreto poroso, demonstra-se uma solução bastante interessante quando verificada as opções existentes para a pavimentação permeável, sendo a melhor disponível para utilização. Devido ao seu grande número de vazios, a atenção na sua execução e na escolha dos materiais deve ser mais especificado, enquanto que suas

propriedades enquanto diferenciação no uso dos materiais também é alterada, com relação ao concreto convencional ao qual se é bastante usual.

A sua aplicação como método de pavimentação pode ser realizada de diversas formas, tendo ou não a infiltração da água absorvida no solo, ou realizando a sua drenagem total ou parcial, determinando essas especificações a partir do projeto e estudo realizado.

REFERÊNCIAS

ACI – American Concrete Institute. **Report on pervious Concrete - ACI522R-10**, Michigan, EUA, 42p. 2010.

ACIOLI L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. Dissertação de Mestrado, (2005) UFRGS – IPH, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Projeto Técnico: Pavimento Permeável. Soluções para cidades**. 2013. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207: Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 2014.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**. Materiais, projeção e restauração. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

BAPTISTA, M. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre, 2005

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.

BONAFÉ, Gabriel. **Pavimentos Permeáveis evitam o acúmulo de água no piso.** 2016. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/pavimentos-permeaveis-evitam-acumulo-de-agua-no-piso_10955_0_1>. Acesso em: 17 fev. 2020.

CAMPOS, O. S., **Análise do Comportamento de Trecho Piloto de Revestimento Poroso com Asfalto Modificado por Polímero.** Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 178 p., 2012

CAPPIELA K.; BROWN K. **Impervious Cover and Land Use in the Chesapeake Bay Watershed.** Ellicott City, MD: Center for Watershed Protection, 2001.

CASTRO, L. R. Mezclas Drenantes. In: **13º Congresso Ibero-Americano Del Asfalto**, São José, Costa Rica 2005.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico – IPR - Divisão de Capacitação Tecnológica. **Especificação de Serviços – ES386/99**, Rio de Janeiro, 1999.

DNIT. **Manual de pavimentação.** Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2006.

FERGUSON, B. K. **Stormwater infiltration.** Boca Raton: Lewis, 2014.

GAL, J. C. Evolution de La Perméabilité des Enrobés Drainants. **Revue Générale des Routes et Aerodromes**, n.702. p. 118-119. 2013.

LIAN, C.; ZHUGE, Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation. **Elsevier Journal Construction and Building Materials**, 2010.

MARQUES, G. L. O. **Notas de Aula da Disciplina Pavimentação.** TRN 032. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto: microestrutura propriedades e materiais**. São Paulo, 2008.

MOTTA, L. M. G. et al. **Pavimentação Asfáltica**. 2008. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2018/03/Cap-6-Propriedades-mec%C3%A2nicas-das-misturas-asf%C3%A1lticas.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

POLASTRE, B; SANTOS, L. D. **Concreto Permeável**. Artigo publicado na AUT 221 – Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2006.

TOMAZ, P. **Pavimento Poroso**. 2009. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo60_pavimento_poroso.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.

TRENTINI, M.; PAIM, L. Pesquisa em Enfermagem. **Uma modalidade convergente-assistencial**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. Dissertação (Monografia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

Enviado: Março, 2020.

Aprovado: Abril, 2020.