

Universidade Brasil
Curso de Engenharia Civil, Campus Descalvado

MARCELO MOREIRA FILHO
YURI DANIEL TROVA PEREIRA

APLICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL: REVISÃO
TEÓRICA

APPLICATION OF PERMEABLE PAVING: THEORETICAL REVIEW

DESCALVADO
2017

MARCELO MOREIRA FILHO
YURI DANIEL TROVA PEREIRA

APLICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL: REVISÃO TEÓRICA

Orientadora: Prof.^a Dra Eng^a Gisele Cristina Antunes Martins

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Brasil, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

DESCALVADO/SP

2017

M838a Moreira Filho, Marcelo
Aplicação da pavimentação permeável: revisão teórica /
Marcelo Moreira Filho, Yuri Daniel Trova Pereira. – Descal-
vado: [s.n.], 2017.
53f. : il. ; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dra. Gisele Cristina Antunes Martins

1. Infraestrutura urbana. 2. Retenção subterrânea de águas pluviais. 3. Urbanização sustentável. I. Pereira, Yuri Daniel Trova. II. Título.

CDD 628.21

**MARCELO MOREIRA FILHO
YURI DANIEL TROVA PEREIRA**

**APLICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL:
REVISÃO TEÓRICA**

Trabalho de Conclusão apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, à Universidade Brasil, desenvolvido sob a orientação da Prof.^a Dra Eng.^a Gisele Cristina Antunes Martins.

Aprovado em 27 de outubro de 2017.

Com Nota 9,8

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dra Eng.^a Gisele Cristina Antunes Martins



Prof. Eng. Geraldo Antônio Traaldi Júnior



Prof.^a Dra Valéria Peruca de Melo

DEDICATÓRIA

Aos pais, presente e ausentes, nosso amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Marcelo agradece aos pais, irmã, namorada e amigos pela confiança, paciência e motivação que foram fundamentais na busca desse objetivo.

Yuri agradece à mãe e ao pai (*in memorian*), aos avós, irmã, familiares e amigos.

Nós agradecemos à Deus pela vida.

Aos professores da Universidade pelos ensinamentos e, em especial, à nossa orientadora, Prof.^a Dra Eng^a Gisele Cristina Antunes Martins pelas informações, apoio e dedicação em todo a execução do presente estudo.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

A água é um dos elementos mais importantes para a sobrevivência de todas as espécies e, para o homem a sua utilização está presente no consumo diário nas mais variadas formas, seja para ingestão e higiene da população, ou também nas construções e outras atividades que tem seu uso de forma abundante. Outro fator de importância para o ser humano sobre a água está na necessidade desta para a agricultura, comércio, construções, comunicação e navegação. Com as construções e crescimento das cidades, em locais que não foram previamente projetados para o recebimento da grande quantidade de águas pluviais que chegam ao solo, estas podem ocasionar alagamentos, enchentes e até mesmo destruição de patrimônio e, o que é pior, risco à vida. Vários estudos têm sido feitos na busca de materiais que permitam a permeabilização da água no solo e, por meio de uma revisão bibliográfica, com busca de artigos científicos, monografia e material disponibilizado na internet e no Google Acadêmico, o presente estudo visa analisar quais as vantagens e desvantagens da utilização do pavimento permeável em áreas urbanas. Serão apresentados, no decorrer do estudo, vários meios de tratamento e cuidados construtivos para minimizar o impacto da impermeabilização do solo que ocorre nos ambientes urbanos, como as trincheiras drenantes, as valas de infiltração, os poços de infiltração, o telhado verde e os pavimentos permeáveis. Estudos apresentados demonstraram que existem vantagens e desvantagens para a utilização do sistema, mas, embora seu custo seja de 10 a 15% mais caro do que o piso tradicional, o retorno em longo prazo justifica o investimento.

Palavras-chave: Infraestrutura urbana, retenção subterrânea de águas pluviais, Urbanização sustentável.

ABSTRACT

Water is one of the most important elements for the survival of all species and for man uses it is present in the daily consumption and in the most varied forms, as for the ingestion and hygiene of the population, as well as in the constructions that have the growth in all cities. Another factor of importance for the human being about water is the fact that it needs water for agriculture, commerce, construction, communication and navigation. With the construction and growth of cities, in places that were not previously designed to receive the large amount of rainwater that reaches the ground, can cause floods, floods and even destruction of property and, what is worse, life threatening. Several studies have been done with the search of materials that allow the permeabilization of the soil and, through a bibliographical review, search of scientific articles, monographs and material available on the Internet and Google Scholar, the present study aims to answer as problematic aimed at analyzing the advantages and disadvantages of using permeable pavement in urban areas. In the course of the study, a variety of treatment and constructive care measures were presented to minimize the impact of soil permeability that occurs in urban environments, such as drainage trenches, infiltration trenches, infiltration wells, green roofs and pavements permeable. Studies have shown that there are advantages and disadvantages to using the system, but although 10 to 15% more expensive than traditional flooring, long-term return justifies the investment.

Keywords: permeable pavement, urban infrastructure, underground rainwater retention, sustainable urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espaço que ocupam as águas do rio.....	15
Figura 2: Efeito da modificação do leito do rio pela urbanização.....	16
Figura 3: Trincheiras drenantes	19
Figura 4: Vista panorâmica dos valos de infiltração (a e b) e a configuração típica de um valo de infiltração (c).....	21
Figura 5: Poço de infiltração	22
Figura 6: Perfil esquemático telhado verde	23
Figura 7: Parcelas e caixas coletoras instaladas para o experimento	26
Figura 8: East Pier em Lorraine, Ohio, Estados Unidos.....	28
Figura 9: Museu do Louvre, Paris, França	29
Figura 10: Autoestrada no Japão com piso permeável.....	30
Figura 11: Pavimento permeável, Alemanha	31
Figura 12: Calçada em concreto 100% permeável no Parque Municipal Antônio Molinari. ..	31
Figura 13: Pátio de estacionamento na Univesidade Federal de São Carlos (UFSCAR).....	32
Figura 14: Piso de entrada e lateral de pizzaria em São Carlos-SP.....	32
Figura 15: Calçamento de praça no município de Conchal-SP.....	33
Figura 16: Asfalto poroso (a), Concreto poroso (b), Blocos de concreto vazado (c).....	34
Figura 17: Esquema de pavimento permeável.....	35
Figura 18: Abertura das valas dos drenos.....	35
Figura 19: Compactação do solo	36
Figura 20: Colocação de manta impermeável para proteção do solo	36
Figura 21: Instalação dos tubos de drenos.....	37
Figura 22: Instalação da cisterna	37
Figura 23: Caixa de acesso à cisterna.....	38
Figura 24: Colocação e compactação do material de base	38
Figura 25: Colocação e compactação do material de base	39
Figura 26: Colocação do material de assentamento	39
Figura 27: Colocação das peças de revestimento	40
Figura 28: Espalhamento do material de rejuntamento	40
Figura 29: Compactação do revestimento	41
Figura 30: Limpeza, inspeção final e teste de permeabilidade.....	41
Figura 31: Teste para medir o coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável	42
Figura 32: teste de permeabilidade.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens utilização das trincheiras	20
Quadro 2: Vantagens e desvantagens do uso da vala de infiltração	21
Quadro 3: Vantagens e desvantagens do uso dos poços de infiltração	24
Quadro 4: Vantagens e desvantagens do uso do telhado verde.....	24
Quadro 5: Níveis de permeabilidade.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO TEÓRICA	15
2.1 Impacto da Impermeabilização do solo	15
2.1.1 Trincheiras drenantes.....	18
2.1.2 Valas de infiltração.....	20
2.1.3 Poços de infiltração	21
2.1.4 Telhado verde	23
2.1.5 Pavimentos permeáveis e semipermeáveis.....	24
2.2. Procedimentos de execução e aplicação de pavimentos permeáveis	27
2.2.1 Breve histórico.....	27
2.2.2 O pavimento permeável no mundo.....	28
2.2.3 Pavimento permeável no Brasil.....	31
2.2.4 Características e tipos de pavimentos permeáveis.....	33
2.2.5 Colocação do pavimento permeável.....	35
2.3 Vantagens e Desvantagens	43
2.3.1 Vantagens	44
2.3.2 Desvantagens	45
2.4 Custos e manutenção	45
3 CONCLUSÕES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

As construções do homem, desde tempos imemoriáveis, são feitas perto de locais de acesso à água potável e, ainda hoje, a localização das cidades está diretamente ligada à presença de água como riachos, córregos, fontes naturais e rios. Isso se deve tanto pela necessidade da água para sobrevivência como para a obtenção de suprimento para o consumo e higiene de suas populações. Outro fator de importância para o ser humano sobre água está na necessidade desta para a agricultura, comércio, construções, comunicação e navegação.

Mas, em algumas situações, a presença das chuvas em locais que não foram previamente projetados para o recebimento da grande quantidade de águas pluviais que chegam ao solo, podem ocasionar alagamentos, enchentes e até mesmo destruição de patrimônio e, o que é pior, risco à vida.

Sendo assim, é possível afirmar que os efeitos negativos da urbanização não planejada sobre o escoamento das águas pluviais são amplos e têm sido registrados em inúmeras localidades, podendo estar associados a vários fatores como a desordenada expansão urbana, o desrespeito ao meio ambiente, o aumento da intensidade das precipitações atmosféricas, aterramento das áreas de várzea, retirada de cobertura vegetal e a impermeabilização do solo.

O processo de impermeabilização do solo tem como consequência a extinção da sua capacidade natural de infiltração. Onde antes as águas seguiam naturalmente no solo, são instalados elementos impermeáveis, tais como lajotas de basalto, concreto asfáltico ou concreto portland. Isso aumenta o volume de escoamento superficial e favorece o rápido transporte das águas para as áreas mais baixas, ocasionando as enchentes.

Conforme avança o processo de impermeabilização do solo, nota-se que os impactos sobre o ciclo hidrológico das regiões afetadas vão se agravando. Uma das consequências é a redução do nível do lençol freático, que deixa de ser reabastecido pelas chuvas.

Assim, as áreas urbanizadas passam a sofrer erosão, escorregamento de encostas, assoreamento de córregos e criação de pontos baixos que retêm água e formam os alagamentos e enchentes. Todos esses problemas requerem buscas de métodos corretivos já que, na prática, é impossível retornar ao estado anterior à urbanização.

Dentre os dispositivos que procuram devolver ao solo as condições originais de retenção do escoamento está o pavimento permeável, que é um dispositivo de infiltração onde o escoamento

mento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (CIOLI, 2005).

O presente estudo foi elaborado por meio de uma revisão bibliográfica, com busca de artigos científicos, monografia e material disponibilizado na internet e no Google Acadêmico, com as palavras-chave: Pavimento permeável, Infraestrutura urbana, retenção subterrânea de águas pluviais e Urbanização sustentável.

Como problemática visa analisar quais as vantagens e desvantagens da utilização do pavimento permeável em áreas urbanas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Impacto da Impermeabilização do solo

No Brasil, os meses de dezembro a fevereiro tornam-se críticos no que se refere a precipitação de chuvas que ocasionam enchentes e alagamentos em diversas cidades. Pelo fato de as populações, normalmente, se instalarem ao longo de rios, lagos e lagoas, em virtude da necessidade da água para inúmeros fins, essa proximidade pode ser um fator de desvantagem quando no período de chuvas.

Normalmente, os rios perenes – isto é, aqueles que nunca secam durante o ano – costumam ter dois tipos de leito: um menor e principal, por onde a água corre durante a maior parte do tempo, e um maior e complementar, que é inundado apenas em períodos de cheias. Essa manifestação é mais comum em áreas planas, também chamadas de planícies de inundação. (PENA, 2017). Na Figura 1 pode-se observar a configuração da paisagem onde estão identificados o leito menor, o leito maior e a planície de inundação.

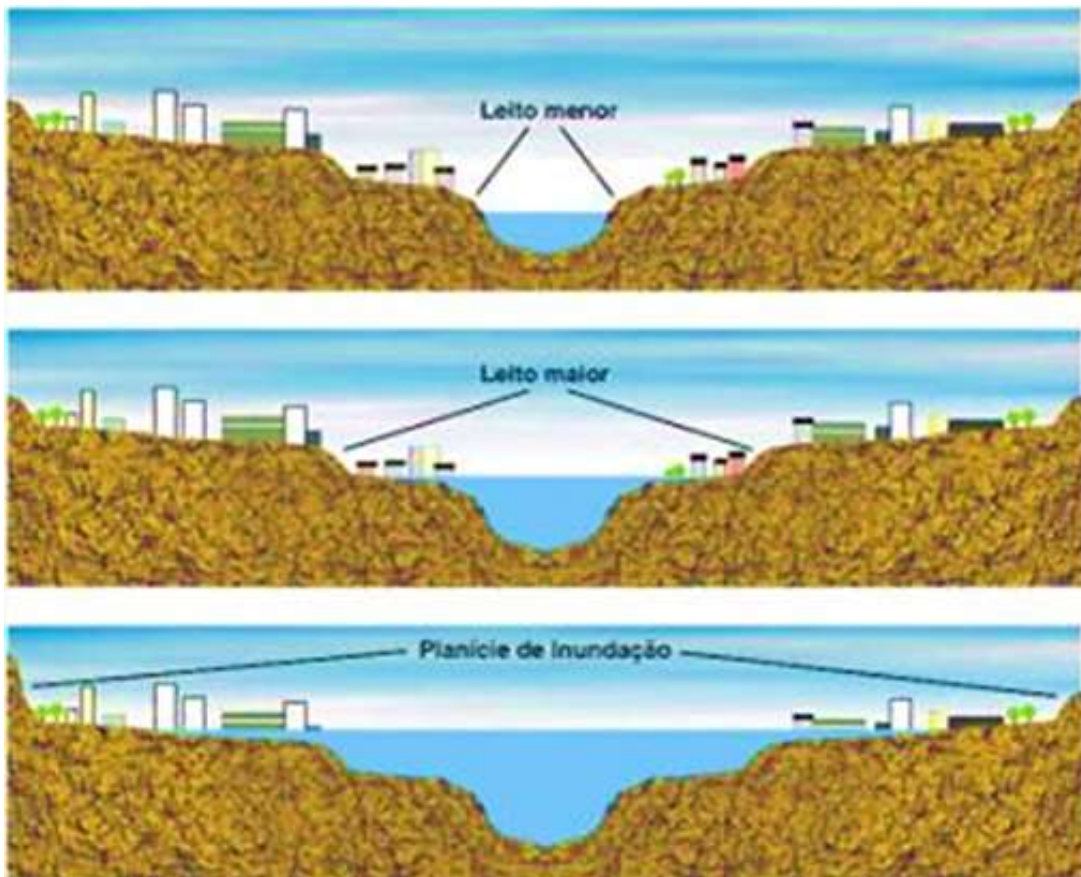


Figura 1: Espaço que ocupam as águas do rio.
Fonte: Pena, 2017

No momento em que acontecem as alterações do uso do solo por meio da implantação das crescentes atividades humanas, com a construção de moradias e edificações diversas, aumenta a impermeabilização da superfície do mesmo e, assim, ocasionando a alteração do ciclo hidrológico natural, diminuindo a infiltração da água no solo e a recarga do lençol freático (MONTES, 2009).

Normalmente, a água possui a tendência de seguir em uma bacia de drenagem, por corpos d'água onde se encontram com rios que ficam com o leito maior cheio durante algumas estações e, menos volumosos em outras, ocupando só o leito menor na estiagem, fluindo até a foz, como ilustrado na Figura 2.

A enchente em área urbana é resultado de um século de ocupação sem visão e de uma urbanização sem planejamento. É resultado do desmatamento das matas ciliares, do microloteamento da terra, da canalização de rios e da impermeabilização do solo. É resultado, ainda, da falta de rede de saneamento, de coleta de lixo e de um sistema de drenagem (QUADRADO, 2016).



Figura 2: Efeito da modificação do leito do rio pela urbanização.

Fonte: Quadrado, 2016

Na explicação de Lamb (2014, p. 34), durante o processo de urbanização, quando a vegetação é retirada, o solo impermeabilizado e os canais de escoamento são retificados, com possibilidade de forte redução da infiltração e do tempo de escoamento da água, “o que faz com que mais água chegue mais rapidamente aos leitos dos cursos de água maiores. Como os mesmos se encontram estrangulados pela ocupação das margens, as inundações tornam-se mais frequentes e intensas”.

O ciclo hidrológico da água, é dividido em fases básicas, sendo elas: a precipitação, a interceptação, a evaporação, a evapotranspiração, a infiltração, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo. Das fases básicas do ciclo hidrológico, um dos componentes mais importantes para dimensionamentos hidráulicos e manejo da bacia hidrográfica é o escoamento superficial. É nesta fase que são tratadas a ocorrência e o transporte da água na superfície terrestre, visto que boa parte dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (JUSTINO et al., 2011).

De acordo com Montes (2009), a falta de um planejamento urbano relacionado principalmente à drenagem urbana, somadas às alterações que o meio sofre em decorrência do uso inadequado do solo, constituem ingredientes favoráveis à geração de problemas urbanos muitas vezes de difíceis soluções e quase sempre requerem medidas estruturais onerosas.

Segundo Silva et al. (2016), as inundações bruscas são aquelas provocadas por chuvas intensas e de curta duração, concentradas em locais de relevo acidentado ou mesmo em áreas planas, com rápidas elevações nos níveis das águas, escoando de forma intensa e rápida, causando grandes danos e prejuízos. Inundações bruscas também podem ser provocadas por quebra de barragens, dependendo do tipo e do tempo que ocorre a quebra. Apesar dos danos e prejuízos iminentes causados pelos desastres naturais, algumas medidas podem ser adotadas para atenuar seus efeitos.

Ainda de acordo com os autores, estas medidas são classificadas como estruturais e estão relacionadas às obras de engenharia, com custo operacional mais elevado, tais como construções de muros de contenção, diques, barragens e reflorestamento. As medidas não-estruturais estão relacionadas ao planejamento, tais como o zoneamento, com a elaboração de mapas de áreas de risco; e os sistemas de alerta a serem aplicados em áreas de risco em que haja ocupação humana, com um monitoramento contínuo e eficiente para alertar a população e providenciar a evacuação em tempo hábil (SILVA et al., 2016).

Para minimizar os efeitos desfavoráveis da urbanização crescente no Brasil, de acordo com Pinto (2011, p. 15), no meio técnico e acadêmico estudos estão sendo feitos no desenvolvimento de pesquisas para descobrir medidas que possibilitem, de alguma maneira, reduzir os efeitos causados pelo homem no tocante a impermeabilização do solo. “Ações como técnicas alternativas de drenagem para reduzir ou controlar os excedentes pluviais gerados pela impermeabilização e pela poluição de origem pluvial, além de propiciar a recarga dos aquíferos subterrâneos”.

Estudo feito por Pinto (2011), apresentando as medidas mitigadoras para o gerenciamento da drenagem urbana, informa que as medidas de controles estruturais caracterizam-se por obras de engenharia que podem vir a alterar as características dos rios e diminuir os riscos das enchentes e que as medidas não estruturas caracterizam-se por ações preventivas. Também cita a autora, as medidas de controle compensatórias que têm por finalidade principal promover a infiltração e armazenamento das águas da chuva. Como tal, informa que estas medidas podem ser: trincheiras drenantes, valas de infiltração, poços de infiltração, telhados armazenadores e pavimentos permeáveis.

2.1.1 Trincheiras drenantes

As trincheiras drenantes são feitas com drenos enterrados usados para recolher a água que percola pelo maciço de solo e conduzi-la até pontos de captação. Em geral, a solução é usada longitudinalmente às bordas da pista de rodovias, com o objetivo de impedir que a água ultrapasse o nível do subleito do pavimento (CORSINI, 2011).

Elas podem ser usadas em áreas industriais, estacionamentos, parques e ao longo de ruas e avenidas para infiltração de água das áreas urbanas pavimentadas. Para a sua instalação é necessário que o solo tenha alta permeabilidade e o lençol freático em um nível seguro, mais baixo do que a trincheira (MARTINS et al., 2012).

De acordo com Martins et al. (2012), o funcionamento das trincheiras é bastante simples. A entrada de água pode ser feita diretamente pela sua superfície ou por coleta de uma rede ligada à trincheira. A evacuação das águas que entram na estrutura pode ser feita de duas formas: por infiltração, onde a água acumulada irá se infiltrar pela base e pelas laterais da trincheira, sendo neste caso trincheiras de infiltração, ou as trincheiras podem evacuar a água em

um meio natural e, sendo assim, trata-se de trincheiras de detenção, e esta evacuação é controlada à jusante. Este tipo de trincheira terá apenas a finalidade de aumentar o tempo de vazão.

Segundo Peiter e Poletto (2012), as trincheiras são estruturas lineares (o comprimento prepondera sobre a largura) que armazenam a água precipitada por tempo suficiente para sua infiltração no solo (Figura 3). Funcionam como reservatórios convencionais de amortecimento de cheias, apresentando melhor desempenho (em relação ao reservatório) uma vez que elas favorecem a infiltração da água no solo, com conseqüente redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchentes.

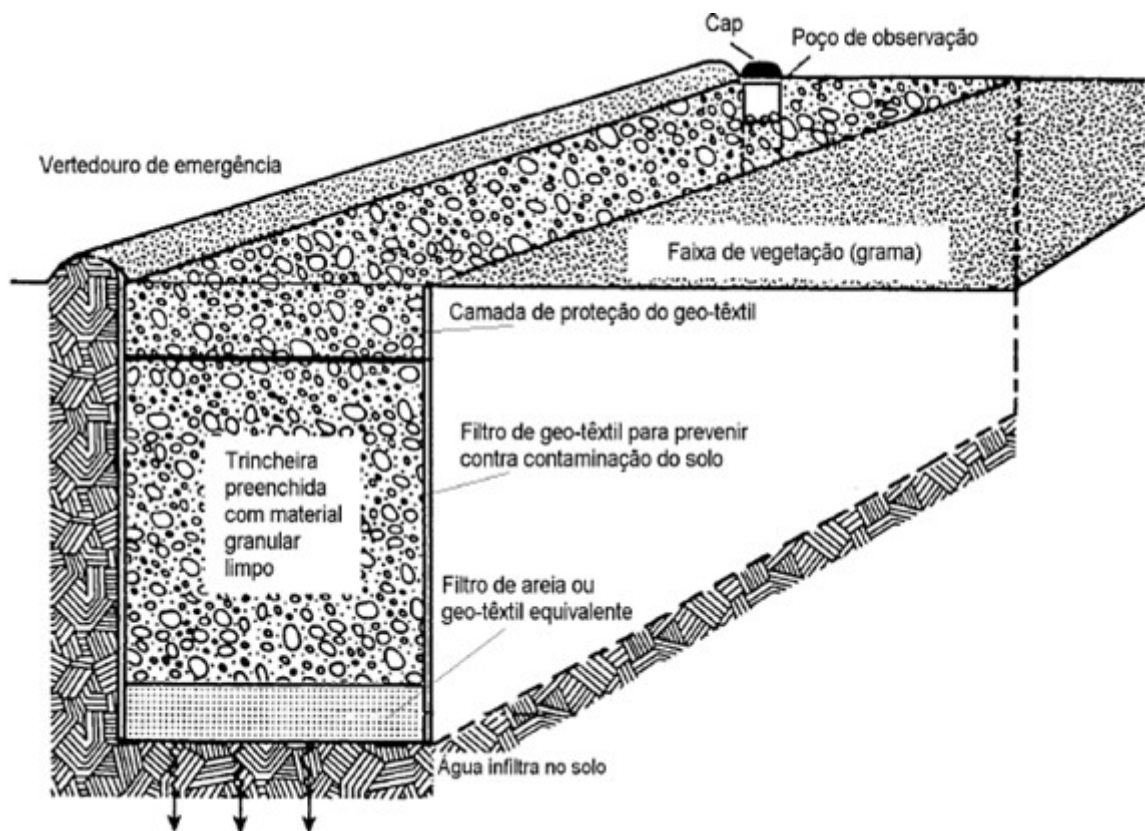


Figura 3: Trincheiras drenantes
Fonte: Peiter e Poletto (2012)

Acrescentam ainda os autores que essas trincheiras podem contribuir muito com a redução do escoamento superficial (Figura 3), armazenando a água com tempo suficiente para ela ser infiltrada e reduzindo os riscos de inundação (PEITER e POLETO, 2012)

De acordo com Pinto (2011, p. 17), as vantagens e as desvantagens para a utilização das trincheiras são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da utilização das trincheiras

Vantagens	Desvantagens
Infiltração das águas de chuva possibilita a redução do escoamento superficial lançado na rede de drenagem	Durante a construção devem ser tomados cuidados com a contaminação e entupimento da trincheira
Fácil implantação	As trincheiras deverão ser inspecionadas regularmente, principalmente após grandes chuvas, em virtude de possíveis represamentos dentro do reservatório;
Baixo custo;	A colmatação pode ocorrer em função do tipo de solo;
Valorização paisagística;	Limitação quanto a permeabilidade do solo;
Preservação natural da recarga do lençol freático e	Manutenção periódica e;
Melhora da qualidade da água.	Possibilidade de contaminação do lençol freático.

Fonte: Adaptado de Pinto (2011, p.17)

2.1.2 Valas de infiltração

As valas de infiltração são técnicas de infiltração bastante antigas e simples, constituídas por depressões no terreno, usualmente com revestimento vegetal, que visam recolher as águas pluviais, promover o seu armazenamento temporário e, por fim, permitir a infiltração. Também podem ter a finalidade de aumentar o tempo de escoamento, diminuindo a velocidade deste (MARTINS et al., 2012). As valas possuem características de obras de grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal, como escadas na terra (AGOSTINHO e POLETO, 2012).

Com pequena profundidade, as valas ou valos de infiltração são construídos geralmente ao longo de áreas impermeabilizadas como estradas e estacionamentos. Essas estruturas são um importante instrumento para a drenagem de água ao longo de uma rodovia construída em região plana ou pantanosa. Com a instalação desses valos, de forma linear, pode-se evitar a necessidade de elevar o leito da estrada com espessas camadas de aterro numa sensível economia para implantação da via, principalmente se a locação da área de empréstimo coincidir com o projeto dos valos, porque a escavação poderá ser feita em função da futura estrutura de retenção e drenagem (CARVALHO, 2008). Os valos de infiltração podem ser associados com planos de infiltração e podem ser também chamados biofiltros quando são vegetados, como mostra a Figura.

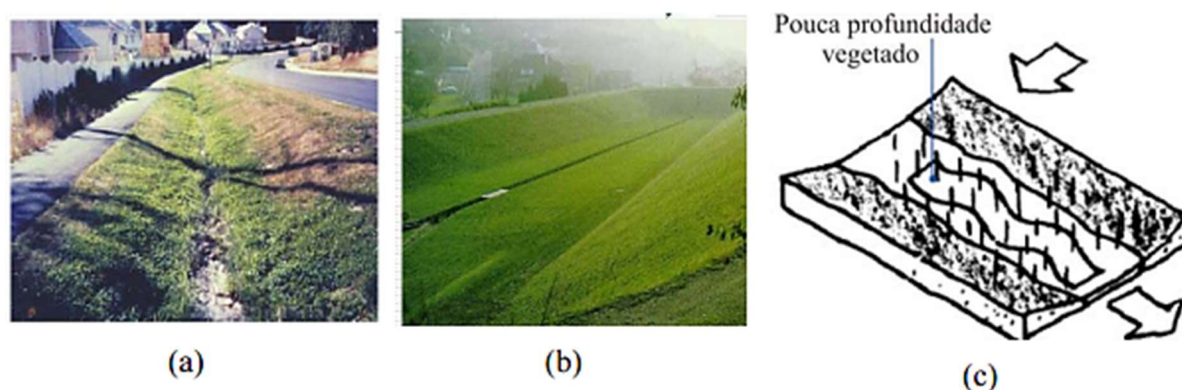


Figura 4: Vista panorâmica de valos de infiltração (a e b) e a configuração típica de um valo de infiltração (c).
Fonte: Carvalho, 2008

No quadro 2 são apresentadas as vantagens e desvantagens da vala de infiltração segundo Pinto (2011, pp.22/23).

Quadro 2: Vantagens e desvantagens do uso da vala de infiltração.

VANTAGENS	DESvantagens
Eficiência na diminuição dos picos de cheias, com o aumento no tempo de concentração em consequência da baixa velocidade.	Não deve ser usada na ocorrência de grande fluxo de água que acarreta alta velocidade e erosão na vala.
Eficiência na retirada de poluentes do escoamento artificial.	Não deve ser implantado em terrenos íngremes ou onde o lençol freático estiver a menos de 1,20m abaixo do fundo da vala.
Recarga do lençol freático.	Em terrenos cujo solo apresenta baixa permeabilidade as valas de infiltração serão menos eficientes.
Fácil execução.	Risco de entupimento.
Baixo custo de projeto e construção.	Necessidade de manutenção periódica, do contrário, seu funcionamento será prejudicado.
Integram a paisagem urbanística.	Facilitam o acúmulo de lixo.

Fonte: Pinto (2011)

2.1.3 Poços de infiltração

Uma das estruturas utilizadas para o controle do escoamento superficial são os poços de infiltração de águas pluviais e, de acordo com Reis et al. (2008), são como micro reservatórios escavados no solo, construídos de forma a permitir a infiltração para o solo do volume de água pluvial escoado para ele. Somente após a redução da capacidade de absorção do solo e total enchimento do poço, a água passa a ser lançada no sistema público de drenagem, por meio de tubos extravasores do próprio poço de infiltração (ALMEIDA, 2016).

Baptista et al. (2005) informam que o desempenho apropriado desse sistema implica na manutenção da taxa de infiltração da água no solo, de acordo com condições definidas em projeto. Além da retenção da água pluvial escoada em superfície, o poço de infiltração também captura parte do material particulado em suspensão.

Reis et al. (2008) apresentam o esquema de um poço de infiltração de águas pluviais (Figura 5). O sistema consiste em um poço escavado no solo, revestido por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, envoltos por uma manta geotêxtil fazendo a interface solo/tubo, e fundo revestido por uma camada de agregados graúdos, também envolta por geotêxtil, de forma a permitir a infiltração, para o solo, do volume de água pluvial escoado para o seu interior.

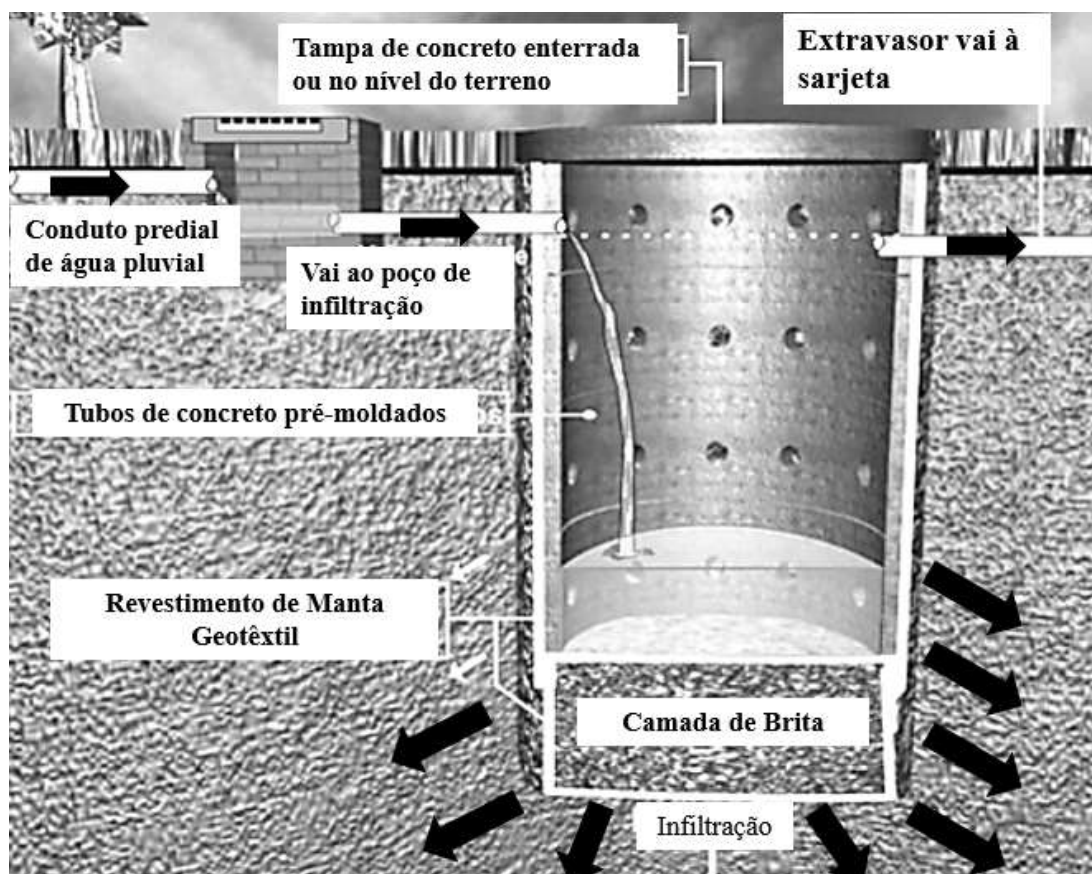


Figura 5: Poço de infiltração.
Fonte: Reis et al., 2008

De acordo com Pinto (2011, pp. 24/25), as vantagens e desvantagens para o poço de infiltração são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Vantagens e desvantagens do uso do poço de infiltração.

VANTAGENS	DESvantagens
Fácil execução.	Possível colmatação do poço em função do volume de sedimentos carregados pelo escoamento superficial.
Baixo custo de implantação.	Manutenção periódica.
Facilmente adaptável à paisagem urbana.	Possibilidade de contaminação do lençol freático.
Promove o aumento dos tempos de concentração e o abatimento dos picos das cheias.	
Promove a recarga do lençol freático.	

Fonte: Adaptado de Pinto (2011)

2.1.4 Telhado verde

De acordo com Pinto (2011), telhado verde é definido como sendo o uso de vegetação rasteira para a estabilização da umidade relativa do ar, redução a poluição das grandes cidades, além de ajudar na estética do local. Podem retardar o escoamento superficial e direcionar a água captada para a rede de drenagem ou um sistema de armazenamento.

Os telhados devem ter estrutura capaz de suportar a instalação e possuir camada de impermeabilização com manta apropriada. Além do amortecimento do escoamento das águas pluviais o telhado verde traz ganhos à climatização natural do ambiente . A Figura 6 apresenta um perfil esquemático do telhado verde.

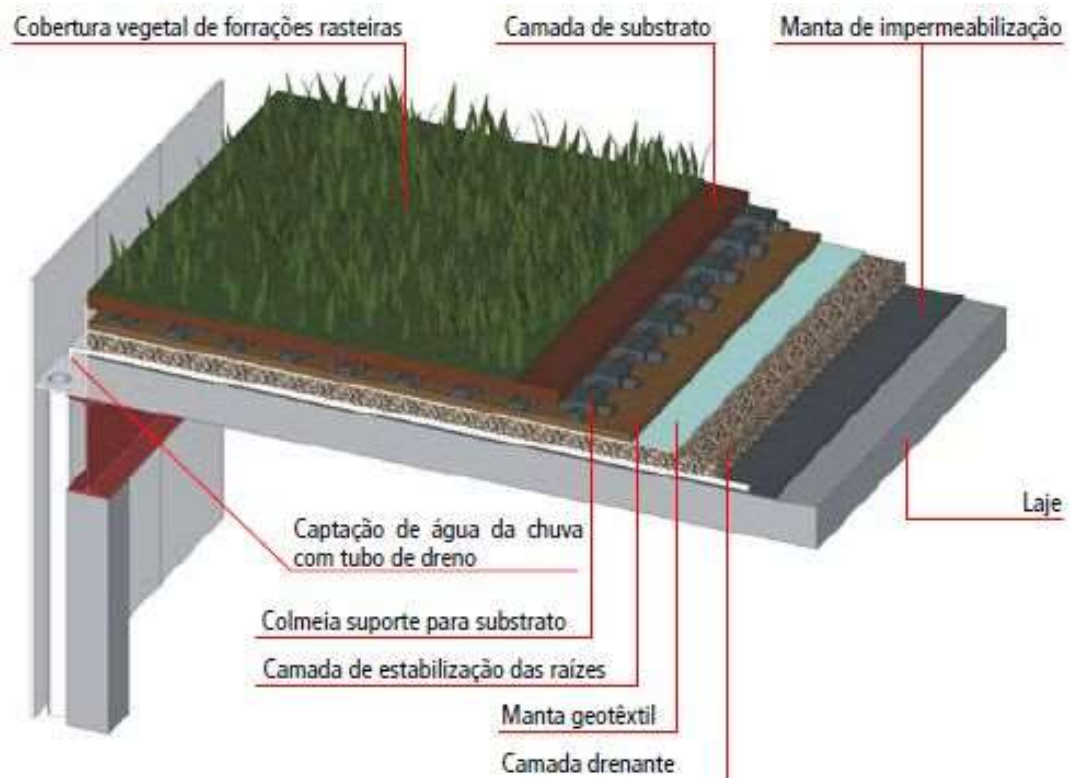


Figura 6: Perfil esquemático telhado verde.

Fonte: <http://parquessustentaveis.blogspot.com.br/2012/04/coberturas-verdes-frescor-e-alimento.html>

No estudo de Pinto (2011, p. 26), a pesquisadora aponta as vantagens e desvantagens para a utilização do telhado verde, as quais estão inseridas no Quadro 4.

Quadro 4: Vantagens e desvantagens do uso do telhado verde.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Área vegetada que permite volume significativo de armazenamento	Custo significativo no caso de implantação em telhados existentes e caso haja necessidade de reforço estrutural
Promove a evapo-transpiração	Limitação da área de armazenamento em função do espaço disponível
Possibilita melhora na qualidade da água	Grande dificuldade e custo para manutenção da estrutura impermeável e da vegetação desenvolvida
A água retida pode ser reutilizada para rega do jardim, por exemplo	Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas
Promove a recarga do lençol freático	Limitações estruturais e arquitetônicas podem impedir seu uso.
Pode ser implantado em novos empreendimentos ou em construções existente	

Fonte: Adaptado de Pinto (2011)

2.1.5 Pavimentos permeáveis e semipermeáveis

De acordo com Marchioni e Silva (2011), com a crescente impermeabilização das superfícies em virtude da urbanização das cidades, o escoamento e retorno da água para o lençol freático tem sido mais difícil, resultando em alterações nos leitos dos rios e dos canais e aumento no volume e constância das enchentes.

Acrescentam os autores que em uma área com cobertura florestal, 95% da água da chuva se infiltra no solo, na área rural esse valor é de 70%, enquanto que nas áreas urbanas este percentual cai para apenas 5%.

O pavimento permeável constitui-se de elementos porosos de concreto ou asfalto, e o semipermeável de elementos de concreto vazados que permitem a percolação da água. Ambos podem ser colocados sobre camadas permeáveis, geralmente bases de material granular. Para evitar o transporte de partículas finas, são utilizadas mantas geotêxteis entre a base do pavimento e a camada de material granular, de acordo com Canholi (2005) apud Maus, et al. (2007).

Os dois tipos de pavimentos, permeável e semipermeável, são uma alternativa de captação de parte da água pluvial "*in loco*". O pavimento permeável é uma alternativa de dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (AGOSTINHO e POLETO, 2012).

De acordo com os autores, os pavimentos permeáveis se classificam em três tipos:

- a. **pavimento asfalto poroso:** possui sua camada superior construída semelhante aos pavimentos convencionais, com uma diferença na fração de areia fina que é retirada da mistura dos agregados empregados na construção da pavimentação;
- b. **pavimento de concreto poroso:** assim como o pavimento asfalto poroso, possui apenas a diferença na fração de areia, em relação aos pavimentos convencionais e,
- c. **pavimento semipermeável:** pavimentos que, na sua generalidade, são constituídos por peças ou unidades de concreto convencional com aberturas, colocadas por assentamento em sub-base (composta por uma camada de granulometria extensa, e uma outra de areia).

Com o objetivo de analisar qual o efeito de diferentes tipos de cobertura do solo e pavimentos no escoamento superficial de água em áreas urbanas, Maus et al. (2007), realizaram um experimento em uma área, onde foram instaladas 4 parcelas com 3 metros de comprimento por 1 metro de largura e declividade de 7%, nas quais o escoamento superficial da água da chuva foi avaliado. Nas parcelas foram colocados diferentes tipos de cobertura, conforme se pode visualizar na Figura 6, apresentada pelos pesquisadores. Da esquerda para direita tem-se: paralelepípedo, asfalto, gramado e pavimento permeável.

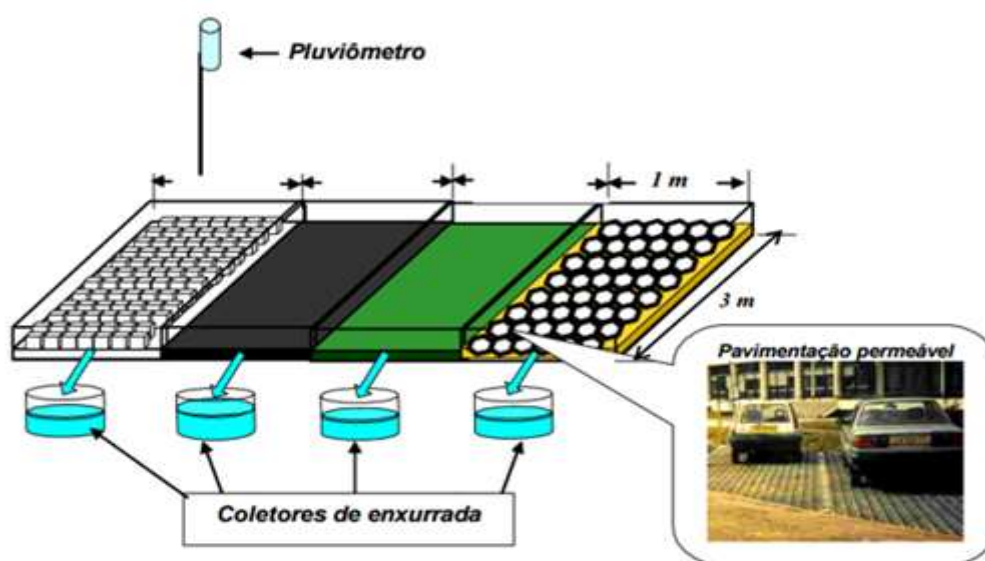


Figura 6: Parcelas demonstrativas do escoamento superficial em área urbana.
Fonte: Maus et al., 2007.

Após a esquematização de como seriam instaladas as 4 parcelas para o experimento, os pesquisadores colocaram em prática a ideia, o que resultou na Figura 7, de acordo com Maus et al. (2007). Iniciando pelo lado esquerdo da figura têm-se a parcela com pavimento permeável, seguida da parcela gramada, asfalto e paralelepípedo, onde também podem ser visualizadas as caixas coletoras do escoamento superficial.



Figura 7: Parcelas e caixas coletoras instaladas para o experimento.
Fonte: Maus et al., 2007.

Recolhendo informações após o período de chuvas, os pesquisadores concluíram que, após o volume de água ter sido escoado superficialmente em cada parcela, o resultado demonstrou que não houve escoamento superficial na parcela com pavimento permeável, demonstrando, assim, que existe o benefício do uso da tecnologia do pavimento permeável no controle do escoamento superficial. Concluem no experimento que, em áreas urbanas, o pavimento permeável e os gramados têm maior taxa de infiltração de água no solo em relação à pavimentação com asfalto e paralelepípedo. O volume de água coletado do escoamento superficial é maior na pavimentação com asfalto, seguido do paralelepípedo e do gramado e é nulo na pavimentação permeável.

Com essas informações, e utilizando esse experimento como indicação sobre os benefícios do pavimento permeável para as áreas urbanas, o capítulo a seguir será dedicado a apresentar mais dados sobre como aplicar esse tipo de revestimento.

2.2. Procedimentos de execução e aplicação de pavimentos permeáveis

O termo pavimento aplica-se, de forma genérica, a qualquer tratamento ou cobertura da superfície que tem como finalidade suportar qualquer tipo de tráfego. Já o pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada de maneira a influenciar a hidrologia e causando algum efeito positivo ao meio ambiente.

2.2.1 Breve histórico

O pavimento permeável ou poroso teve início de sua utilização, na Europa, mais especificamente, na França, nos anos 1945-1950, sem que tivesse alcançado o êxito desejado, visto que, na época, a qualidade do ligante asfáltico se apresentava heterogênea e de pouca trabalhabilidade, não sustentando as ligações da estrutura por causa do excesso de vazios.

No final dos anos 1970, empresas de rodovias questionavam o uso do pavimento impermeável tradicional utilizado nas estradas, baseando-se no fato de que a segurança ao dirigir em dias de chuva em pavimentos porosos tinha um aumento significativo em função da aderência dos pneus (MELLO, 2014) e, assim, foi novamente utilizado quando alguns países, como a França, os Estados Unidos, o Japão e a Suécia, voltaram a se interessar por esse tipo de pavimento.

Os principais motivos que levaram à utilização sistemática dos pavimentos permeáveis foram (SUZUKI et al., 2013, p. 180):

- ✓ “O aumento das superfícies impermeáveis, devido ao rápido crescimento populacional do pós-guerra, que sobrecarregou os sistemas de drenagem existentes, causando frequentes inundações urbanas;
- ✓ A drenagem da pista para evitar a formação de poças de água no pavimento, o que aumenta a segurança e o conforto para dirigir durante eventos chuvosos;
- ✓ O reduzido nível de emissão de ruídos em comparação com o pavimento convencional, o que ajuda a diminuir a poluição sonora nas cidades.”

2.2.2 O pavimento permeável no mundo

De acordo com Suzuki et al. (2013), a utilização do pavimento permeável foi adotada em diversos países.

Nos Estados Unidos, vários estados têm criado leis mudando os objetivos e métodos de drenagem urbana, impondo a máxima infiltração ou armazenamento temporário da água de escoamento superficial. Em certos casos, a água armazenada é conduzida para os mais variados usos, tais como a irrigação. Atualmente, em casos específicos, em vez de pavimentos serem construídos de materiais cuidadosamente escolhidos para serem impermeáveis, é recomendável o emprego do pavimento poroso, que deixa infiltrar a água da chuva, em vez de escoar (SUZUKI et al., 2013). Os pavimentos permeáveis são recomendados principalmente na execução de estacionamentos e vias urbanas com tráfego leve e de baixa intensidade (Figura 8).

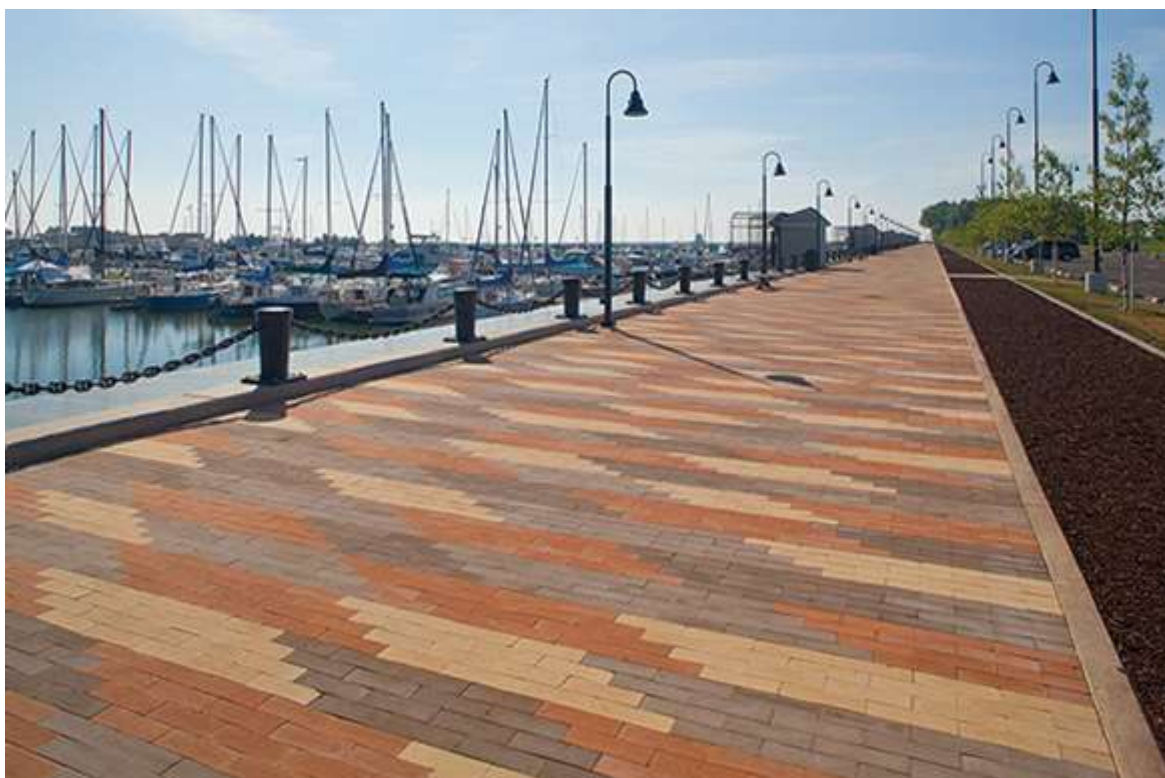


Figura 8: East Pier em Lorraine, Ohio, Estados Unidos.
Fonte: Ferguson (2017)

Ferguson (2017, p.1), informando sobre a utilização do piso permeável nos Estados Unidos, afirma que os pavimentos permeáveis, instalados e mantidos corretamente, têm taxas de infiltração superficial superiores à de quase qualquer solo natural e várias vezes maiores do que

a intensidade de chuva máxima possível em qualquer lugar do país, ou seja, maior que qualquer coisa que já é chamada permeável.

Na França, o Ministère de l'Équipement, em 1978, lançou um programa de pesquisas para explorar novas soluções que diminuíssem as inundações. Dentre essas pesquisas, o pavimento permeável, também chamado pavimento com estrutura-reservatório, destacou-se como uma das soluções mais interessantes graças à sua facilidade de integração ao ambiente das cidades. Desde então, o pavimento permeável passou a ser objeto de pesquisas e experimentações, de forma que foi alcançado um domínio da técnica e suas vantagens. O pavimento permeável passou, então, por um importante desenvolvimento industrial, iniciado em 1987, e hoje é amplamente utilizado em vias, calçadas, praças, etc. (SUZUKI et al., 2013) (Figura 9).



Figura 9: Museu do Louvre, Paris, França.

Fonte: <https://antiquewarehouse.ca/2015/02/besieged-louvre-museum-temporarily-grants-visitors-free-entry/>

No Japão, o pavimento permeável é integrado a programas que incluem todas as técnicas de infiltração. Tais técnicas são utilizadas principalmente nos quarteirões das grandes cidades, em lugares que podem ser inundados, tais como quadras de esporte de universidades, pátios de escolas etc. (SUZUKI et al., 2013).

Na Figura 10 se pode observar uma autoestrada, no Japão, que demonstra que a água da chuva infiltra rapidamente e não fica na superfície da estrada, assim possibilitando uma condução segura e confortável.



Figura 10: Autoestrada no Japão com piso permeável.

Fonte: <http://www.k-hutec.co.jp/project/road.html>

Na Suécia, a utilização do pavimento permeável foi incentivada por sua contribuição para a solução de dois outros problemas importantes: a redução do nível freático levou à diminuição da umidade do solo e, conseqüentemente, ao adensamento do solo argiloso local; os danos causados pelo gelo no norte da Suécia, onde as rodovias e as canalizações de água pluvial situadas perto da superfície sofrem danos consideráveis cujos reparos exigem grandes despesas. A larga implantação de pavimentos permeáveis interrompeu a redução do nível do lençol freático e reduziu a necessidade de redes pluviais (SUZUKI et al., 2013).

De acordo com Mariana Marchioni, coordenadora do Projeto Pavimento Permeável da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a Alemanha (Figura 11) possui legislação que exige um percentual de pavimento permeável há algumas décadas. Ali, são construídos mais de 20 milhões de metros quadrados de pavimentos permeáveis por ano, em média. O rigor dos alemães em relação ao meio ambiente e a conhecida preocupação dos germânicos com os aspectos técnicos e econômicos induzem a esse uso maciço do pavimento permeável (ROCHA, 2013).



Figura 11: Pavimento permeável, Alemanha
Fonte: <http://www.huberstein.de/pflaster/standard-pflaster>

2.2.3 Pavimento permeável no Brasil

Em 2014, Poços de Caldas foi uma das primeiras cidades no estado de Minas Gerais a fazer a aplicação do concreto permeável em calçadas, no Parque Municipal Antônio Molinari.

De acordo com as informações da Prefeitura de Poços de Caldas (2014), parte da calçada externa do parque foi refeita durante o mês de julho com o novo concreto. A calçada é feita de concreto 100% permeável, o que traz inúmeras vantagens para o meio ambiente, grandes centros e áreas urbanizadas (Figura 12).



Figura 12: Calçada em concreto 100% permeável no Parque Municipal Antônio Molinari.
Fonte: Prefeitura Poços de Caldas, MG (2014).

De acordo com as imagens que foram publicadas no endereço eletrônico da <https://www.pisosbriquet.com.br/>, é possível fazer uma análise das localidades que utilizaram o piso permeável, como o pátio de estacionamento na Universidade de São Carlos – UFSCAR (Figura 13), o piso de entrada e lateral de estacionamento de um estabelecimento comercial em São Carlos (Figura 14) e o piso de uma praça pública no município de Conchal, estado de São Paulo (Figura 15).



Figura 13: Pátio de estacionamento na Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR).
Fonte: <https://www.pisosbriquet.com.br/obras?lightbox=dataItem-ixrkp4m51>



Figura 14: Piso de entrada e lateral de pizzaria em São Carlos-SP.
Fonte: <https://www.pisosbriquet.com.br/obras?lightbox=dataItem-ivkzqt5u>



Figura 15: Calçamento de praça, município Conchal-SP

Fonte: <https://www.pisosbriquet.com.br/obras?lightbox=dataItem-irqs1yqd>

2.2.4 Características e tipos de pavimentos permeáveis

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a Norma Brasileira (NBR) 16416, de 19 de agosto 2015, regulamentando os pavimentos permeáveis de concreto e procedimentos, estabelece os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos permeáveis de concreto, construídos com revestimentos de peças de concreto intertravadas, placas de concreto ou pavimento de concreto moldado no local.

Existem três tipos de pavimentos permeáveis: o asfalto poroso, o concreto poroso e os blocos de concreto vazado (Figura 16). Os dois primeiros são preparados de forma similar aos

pavimentos convencionais, retirando-se somente os agregados finos para aumentar a porosidade. O último possui abertura em sua estrutura permitindo que a água penetre no reservatório. As aberturas podem ser preenchidas com areia, cascalho ou tufo de grama (BARROS e SOUZA, 2007).

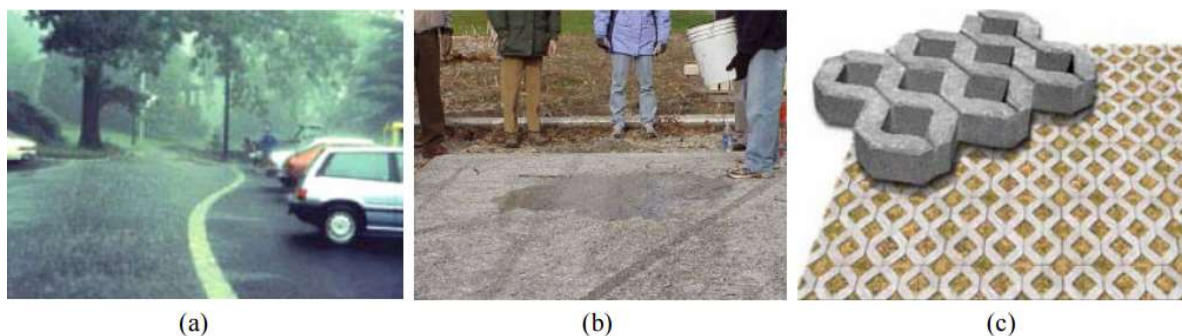


Figura 16: Asfalto poroso (a), Concreto poroso (b), Blocos de concreto vazado (c).
Fonte: Barros e Souza, 2007

O revestimento deve permitir a passagem rápida da água, evitando assim que ela esco superficialmente ou forme poças, garantindo que 100% da água superficial seja infiltrada através do pavimento em um intervalo de tempo compatível com a chuva local, resultando em um baixo coeficiente de escoamento superficial.

A estrutura do pavimento deve ser dimensionada considerando-se a intensidade da chuva no local e as características do solo, além das condições de tráfego as quais o pavimento estará sujeito. A principal característica desse sistema é a redução do escoamento superficial, mantendo a área útil do pavimento.

Segundo Shueller (1987) apud Araujo et al. (2000), os pavimentos permeáveis são compostos por duas camadas de agregados (uma de agregado fino ou médio e outra de agregado graúdo) mais a camada do pavimento permeável propriamente dito. O escoamento infiltra rapidamente na capa ou revestimento poroso (espessura de 5 a 10cm), passa por um filtro de agregado de 1,25cm de diâmetro e espessura de aproximadamente 2,5cm e vai para uma câmara ou reservatório de pedras mais profundo com agregados de 3,8 a 7,6cm de diâmetro. A capa de revestimento permeável somente age como um conduto rápido para o escoamento chegar ao reservatório de pedras. O escoamento, neste reservatório, poderá então ser infiltrado para o subsolo ou coletado por tubos de drenagem e transportado para uma saída. Assim, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela espessura do reservatório de pedras subterrâneo (mais o escoamento perdido por infiltração para o subsolo).

Desta forma, Marchioni e Silva (2012) apresentam o esquema do pavimento permeável na Figura 17.

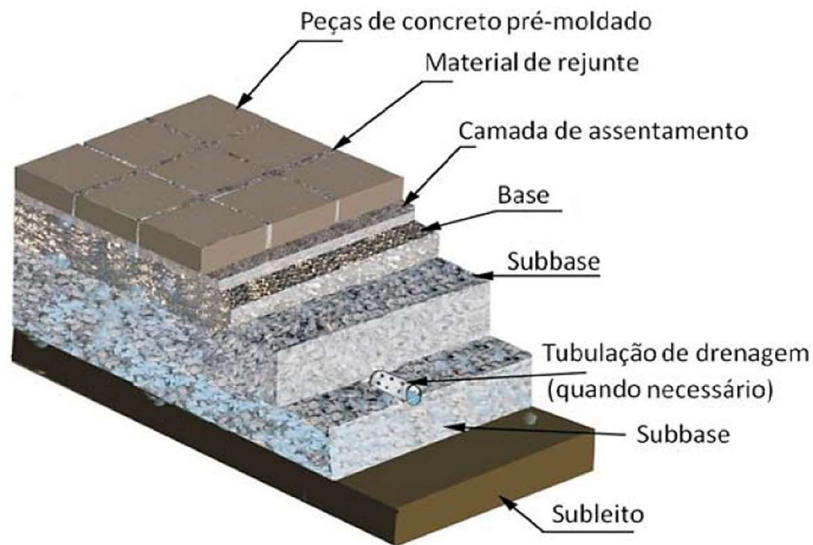


Figura 17: Esquema de pavimento permeável.
Fonte: Marchioni e Silva (2012)

2.2.5 Colocação do pavimento permeável

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2017) apresenta as principais etapas para a colocação do piso permeável com o bloco intertravado, sendo elas:

- 1 - Abertura das valas dos drenos (Figura 18).

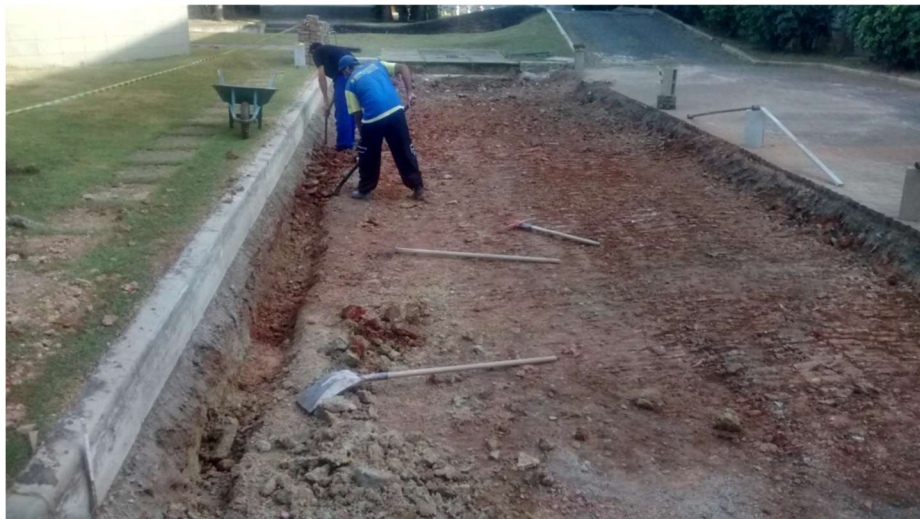


Figura 18: Abertura das valas dos drenos
Fonte: ABCP (2017)

Para a compactação do subleito (Figura 19) deve-se verificar a necessidade ou não do uso da manta plástica, conforme o tipo de solo. A manta é recomendada para solos argilosos

de baixa permeabilidade e as suas especificações estão determinadas na norma ABNT 16416/2015.



Figura 19: Compactação do solo
Fonte: ABCP (2017)

A Figura 20 ilustra a colocação da manta impermeável para proteção do solo (evitar saturação do solo de baixa permeabilidade e aumentar a condição de armazenamento da água). Proteção do entorno do pavimento no encontro com as áreas impermeáveis.



Figura 20: Colocação de manta impermeável para proteção do solo
Fonte: ABCP (2017)

Na Figura 21, a etapa da instalação dos tubos dreno de 4" (acelera a retirada da água da estrutura e direciona a coleta para a cisterna)



Figura 21: Instalação dos tubos de drenos
Fonte: ABCP (2017)

Na Figura 22, o nível da cisterna deve levar em consideração o nível da entrada do tubo, dreno do pavimento e a saída do ladrão da cisterna deve ser direcionado por gravidade até o sistema de drenagem de águas pluviais.



Figura 22: Instalação da cisterna.
Fonte: ABCP (2017)

A próxima etapa é a colocação da caixa de acesso à cisterna, como pode ser observado na Figura 23.



Figura 23: Caixa de acesso à cisterna.
Fonte: ABCP (2017)

A etapa seguinte, conforme a Figura 24, é a colocação do material de base recomendado pela norma ABNT 16416/2015, nesse caso brita 19mm, com 20cm de espessura, sem finos e com granulometria uniforme (maioria das partículas em torno de 19mm).

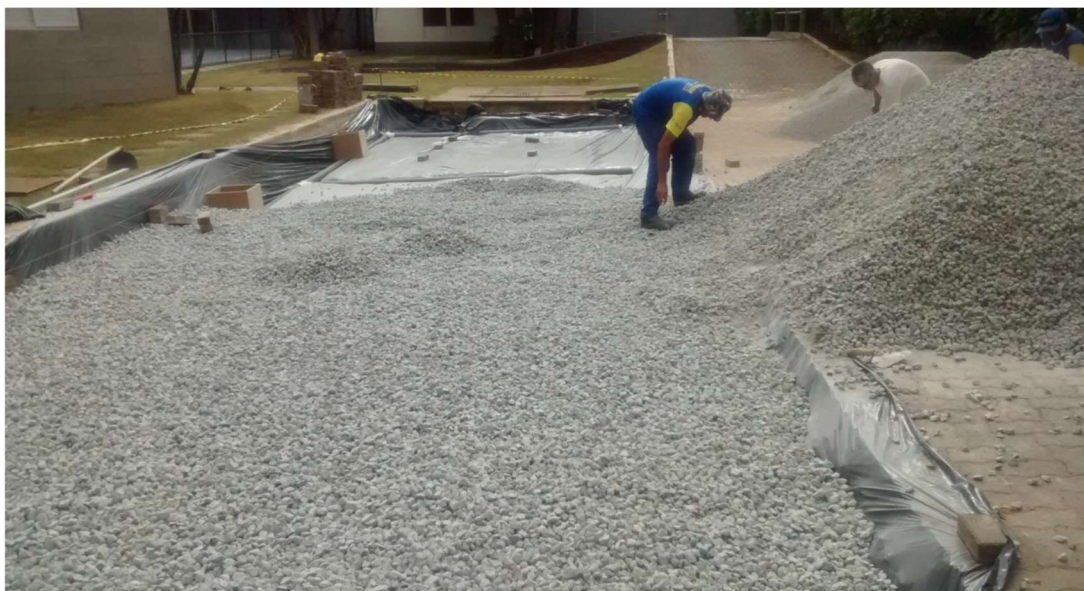


Figura 24: Colocação e compactação do material de base.
Fonte: ABCP (2017)

Posteriormente, todo o material de base deve ser compactado e nivelado, conforme a Figura 25.



Figura 25: Colocação e compactação do material de base.
Fonte: ABCP (2017)

Após a compactação, o piso recebe um material de revestimento que deve ter espessura de 4cm de brita de 6,3mm, com granulometria uniforme e sem conter agregados finos, como apresentado na Figura 26.



Figura 26: Colocação do material de assentamento.
Fonte: ABCP (2017)

A camada de revestimento não deve ser compactada antes da colocação das peças no processo de blocos intertravados, como ilustrado na Figura 27.



Figura 27: Colocação das peças de revestimento.
Fonte: ABCP (2017)

Com todas as peças colocadas, deve-se fazer o espalhamento do material de rejuntamento após a colocação de todo revestimento, conforme a Figura 28.



Figura 28: Espalhamento do material de rejuntamento.
Fonte: ABCP (2017)

Após a colocação do material de rejuntamento, deve-se retirar o excesso e realizar a compactação do revestimento com placa vibratória e proteção de borracha para não danificar as peças do revestimento (Figura 29).



Figura 29: Compactação do revestimento.
Fonte: ABCP (2017)

Após a compactação, deve-se verificar se o material de rejuntamento está preenchendo todas as juntas e espaços por onde a água irá percolar. É feita a limpeza da superfície, verificando se há alguma peça quebrada ou desnivelada e é feita a liberação do pavimento permeável (Figura 30).



Figura 30: Limpeza, inspeção final e teste de permeabilidade
Fonte: ABCP (2017)

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), antes da liberação deve-se fazer o teste para medir o coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável (Figura 31).



Figura 31: Teste para medir o coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável.
Fonte: ABCP (2017)

A ABCP (2017) informa que o coeficiente de permeabilidade deve ser feito como, por exemplo: se ocorreu chuva de 100mm, significa dizer que em uma área de 1m^2 , a lâmina de água formada pela chuva que caiu apresenta uma altura de 100mm. O volume da precipitação pode ser obtido considerando-se 1m^2 de área e a altura de 100mm ou seja $0,1\text{m}^3$.

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), a tabela de níveis de permeabilidade seria a que se apresenta no Quadro 5.

Quadro 5: Níveis de permeabilidade

Coeficiente de permeabilidade K								Grau de Permeabilidade
m/s		mm/s		mm/min		Litros/min		
>	10^{-3}	>	1,000000	>	60,00	>	60,00	Alta
10^{-3}	10^{-5}	1,0000	0,010000	60,00	0,60000	60,00	0,6000	Média
10^{-5}	10^{-7}	0,0100	0,000100	0,60	0,00600	0,60	0,0060	Baixa
10^{-7}	10^{-9}	0,0001	0,000001	0,01	0,00006	0,006	0,00006	Muito baixa
<	10^{-9}	<	0,000001	<	0,00006	<	0,00006	Impermeável

Fonte: ABNT (2015).

Portanto, em uma área de 1m^2 , o pavimento permeável com coeficiente de permeabilidade igual ou superior a 10^{-3} m/s, permite que, no mínimo, 60 litros de água sejam escoados no intervalo de apenas 1 minuto (Figura 32).



Figura 32: Teste de permeabilidade.
Fonte: ABCP (2017)

De acordo com Virgilis (2009), a simples adoção de pavimentos com superfícies permeáveis, como é o caso dos revestimentos asfálticos que apesar de sua camada porosa, gera maior atrito e reduz o escoamento superficial, diminuindo o efeito de aquaplanagem, por si só não representa ganho significativo para os sistemas de drenagem. Porém, sua combinação com a adoção de uma estrutura de pavimento porosa na base e sub-base, por exemplo, o emprego de brita graduada simples de graduação aberta e tamanho mais uniforme dos agregados com pouco finos, permitirá a preservação temporária das águas pluviais em seu interior, com possibilidades de infiltração ou regulação de seu escoamento, melhorando significativamente o controle de picos de cheias em zona urbana.

2.3 Vantagens e Desvantagens

A aplicação do pavimento permeável apresenta vantagens e desvantagens que são apresentadas a seguir.

2.3.1 Vantagens

Segundo Puliti et al. (2012), o pavimento poroso, além de seus benefícios hidrológicos, filtra a água que chega no lençol freático para que esta seja mais limpa. É importante salientar que, se a água drenada da região for muito poluída, esta técnica pode aumentar a poluição difusa no lençol freático, devendo-se então utilizar pavimentos permeáveis com a última camada impermeável e com drenos que direcionem a água de volta para o rio. Portanto, o pavimento poroso, neste caso, somente terá a função de retardar a onda de cheia.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, 2015) 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 fluxo 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, já que os pavimentos permeáveis permitem a chegada de água e ar às raízes da vegetação.
- Diminuição da necessidade de meio-fio e canais de drenagem;
- Aumento da segurança e conforto em vias, pela diminuição de derrapagens e ruídos;
- É um dispositivo de drenagem que se integra completamente à obra, não necessitando de espaço exclusivo para o dispositivo.

Dentre as vantagens econômicas, pode ser citado que:

- 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 costumam exigir que uma parcela do terreno fique livre de impermeabilização (pelo menos de 15 a 30%).

2.3.2 Desvantagens

Acioli (2005) e ABESC (2015) citam algumas desvantagens relacionadas aos pavimentos permeáveis:

- Existe o risco do aquífero ser contaminado, dependendo da utilização que for dada ao solo e da suscetibilidade do aquífero;
- Se o pavimento for poroso, ele pode tornar-se obstruído se não for adequadamente instalado ou mantido;
- Há pouca perícia dos engenheiros e dos contratantes com relação à esta tecnologia;
- Existe um risco considerável de falha, devido à má construção ou colmatagem (obstrução).

2.4 Custos e manutenção

O estudo elaborado por Tomaz (2009) aponta o custo de construção moderado, com o de manutenção alta. No que se refere a valores, o asfalto poroso custa de 10% a 15% a mais do que o asfalto tradicional, sendo que o tubo perfurado de drenagem sempre deve ser computado nos custos. O custo de contingências deve ser aproximadamente 10% maior que os custos normalmente adotados nos projetos.

Segundo o autor, a duração de um pavimento poroso é de 5 a 10 anos e deve ser inspecionado a cada 6 meses e, para o funcionamento correto, os danos devem ser reparados imediatamente. Assim, as inspeções devem ser mensais nos primeiros meses após a construção e depois, de seis em seis meses, devendo ser monitorado para verificar se não está havendo entupimento e quebra do pavimento poroso. Quando houver entupimento, as áreas deverão ser refeitas imediatamente. Existem equipamentos para procedimentos de sucção a vácuo e jatos de alta pressão para manter a porosidade do pavimento e devem ser feitos, no mínimo, duas vezes por ano (TOMAZ, 2009).

Na pesquisa de Acioli (2005), com o objetivo de analisar a comparação dos custos para a implantação do pavimento permeável com revestimento em blocos vazados e o revestimento em asfalto poroso, aponta que a implantação do pavimento com blocos vazados possui gastos 32% superiores à implantação de um pavimento com blocos intertravados comuns. Já no caso

do pavimento permeável com asfalto poroso, sua implantação é 21% mais onerosa que a de um pavimento com asfalto comum.

Conclui a autora que o pavimento permeável demonstrou ser uma técnica eficiente e econômica, e, assim, uma boa alternativa de controle do escoamento superficial na fonte. Desta forma, como a maioria dos dispositivos de infiltração, o pavimento permeável se caracteriza pela multifuncionalidade, apresentando boa integração com o espaço urbano (ACIOLI, 2005, p. 127).

3 CONCLUSÕES

Durante o processo de urbanização, é notável que a cada dia dispomos de tecnologias que possibilitam construir de maneira a gerar maior conforto e segurança para a sociedade. No caso dos pavimentos drenantes, a busca por minimizar transtornos causados pelo escoamento superficial de águas pluviais segue esse parâmetro.

No decorrer do estudo foram apresentados alguns meios de tratamento e cuidados construtivos para minimizar o impacto da impermeabilização do solo que ocorre nos ambientes urbanos.

Da utilização de pavimentos permeáveis pode-se chegar a algumas conclusões, tais como: o pavimento permeável permite que, em momentos de picos de chuva, o escoamento superficial seja desviado e amortecido por sua capacidade de reservação e, após isso, é possível que a água infiltre no solo completamente ou seu excesso seja enviado às tubulações de drenagem. Proporciona também, uma maior segurança e conforto com maior aderência ao pavimento sem formação de poças, e, em locais de pouca poluição, é possível o reabastecimento dos lençóis freáticos. Quando aplicado, o pavimento permeável pode reduzir as dimensões do sistema de drenagem convencional. O sistema de reservatório deverá ser elaborado para cada caso, de acordo com o tipo de solo, bem como o nível do lençol freático. O reservatório deve ser dimensionado de acordo com a quantidade de precipitação de chuva máxima estimada para o local, considerando-se os momentos de pico. Pode, ainda, ocorrer a colmatação do pavimento.

Sendo utilizado há mais tempo nos países europeus e norte-americanos, o piso permeável tem se mostrado um método de pavimentação eficiente.

Os exemplos de aplicação do piso permeável no Brasil, na região de São Carlos, demonstram que esse tipo de tratamento para o solo e o cuidado com o escoamento das águas pluviais já é mais acessível aos usuários que, podem aliar a estética do piso com a funcionalidade.

Estudos apresentados demonstram que existem vantagens e desvantagens para a utilização do sistema, mas, embora seu custo seja de 10 a 15% mais caro do que o piso tradicional, o retorno a longo prazo justifica o investimento.

Entende-se que a utilização desse tipo de pavimento pode ser um grande passo para a melhoria no sistema de drenagem urbana, desde que respeitando e analisando cada caso.

Sendo assim, para estudos futuros podem ser feitas análises práticas no intuito de que se elaborem maneiras de controlar a contaminação que pode ser gerada nos lençóis freáticos

devido a infiltração de água poluída. Este é um ponto que é de grande interesse, haja vista a necessidade do reabastecimento dos lençóis, que é quase nulo nos centros urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **13 passos para executar um pavimento permeável e armazenar água da chuva**. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/cms/download/13-passos-para-executar-um-pavimento-permeavel-e-armazenar-agua-da-chuva/>>.

Acesso em julho de 2017.

ABESC- **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem**. 2015. Disponível em <<http://abesc.org.br/informacoes-pavimento-permeavel/>>. Acesso em agosto de 2017.

ABNT. Associação Brasileira Normas Técnicas. **NBR 16416:2015**. Pavimentos permeáveis de concreto - requisitos e procedimentos. 2015.

ACIOLI, L.A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Mestrado em engenharia ao Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto alegre, 2005. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5843/000521171.pdf>>. Acesso em agosto de 2017.

AGOSTINHO, M.S.P.; POLETO, C. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos**. Universidade Estadual de Maringá. Holos Environment, v. 12, nº 2, 2012. p. 121. Disponível em <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054>>. Acesso em agosto de 2017.

ALMEIDA, R.T.O. **Avaliação da eficiência dos poços de infiltração no controle da drenagem no lote**. Bacharel em Engenharia Civil ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. Disponível em <https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/2316/1/Avalia%C3%A7%C3%A3odaefici%C3%A4nciadospo%C3%A7os_artigoTCC_2016.pdf>. Acesso em agosto de 2017.

ARAUJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídrico** v. 5. n.3 jul/set 2000, 21-29.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005

BARROS, B.R.; SOUZA, F.A.M. O espaço construído da UFAL sob o enfoque da sustentabilidade ambiental: avaliação do quadro atual e propostas. **IV encontro Nacional e II Encontro latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. 2007. Disponível em <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_111.pdf>. Acesso em agosto 2017

CARVALHO, Eufrosina Terezinha Leão. **Avaliação de elementos de infiltração de águas pluviais na zona norte da cidade de Goiânia**. Curso de Mestrado em Geotecnia e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Goiânia, 2008. Disponível em <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5711>>. Acesso em agosto de 2017.

CIOLI, L.A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação de Mestrado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, 2005. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5843/000521171.pdf>>. Acesso em agosto de 2017.

CORSINI, R. Saneamento - trincheira drenante. **Revista Infraestrutura, on line**. ed. 14. dez. 2011. Disponível em <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo257601-1.aspx>>. Acesso em agosto de 2017.

FERGUSON, B.F. **P & R de pavimentos porosos: respostas do homem que escreveu o livro sobre o assunto**. 2017. Disponível em <<http://masonrydesignmagazine.com/porous-pavements-q-and-a-answers-from-the-man-who-wrote-the-book-on-the-subject/>>. Acesso em julho de 2017.

JUSTINO, E.A.; PAULA, H.M.; PAIVA, E.R. **Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG**. Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás/Campus Catalão. Espaço Revista vol.13, nº 2 jul/dez. 2011, pg. 16 - 38. Disponível em <<https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/download/16884/10333>>. Acesso em agosto de 2017.

LAMB, G.S. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-graduação

para mestrado em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2014. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/114985>>. Acesso em agosto de 2017.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

_____. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2012. 12p.

MARTINS, J.R.S.; PORTO, M.F.A.; ZAEHD, K. (org.) **Facilitadores de infiltração e qualidade das águas**. Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - PHA. 2012. Disponível em <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6466>. Acesso em 02/06/2017.

MAUS, V.W.; RIGHES, A.A.; BURIOL, G.A. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. **I Simpósio de recursos hídricos do norte e centro-oeste**, 1, 17, Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA). 2007

MELLO, G.X. **Gerenciamento de drenagem urbana: uso de indicadores na análise comparativa da sustentabilidade de medidas de controle**. Departamento de engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/107534/000941326.pdf;sequence=1>>. Acesso em agosto de 2017.

MONTES, R.M. **A drenagem urbana de águas pluviais e seus impactos cenário atual da Bacia do Córrego Vaca-Brava, Goiânia - Go**. Bacharel em Engenharia Ambiental à. Universidade Católica de Goiás. 2009. Disponível em <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/A%20DRENAGEM%20URBANA%20DE%20C3%81GUAS%20PLUVIAIS%20E%20SEUS%20IMPACTOS%20CEN%20RIO%20ATUAL%20VACA%20BRAVA.pdf>>.

PEITER, T.V.; POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. **REA – Revista de estudos ambientais (Online)** v. 14, n. 2esp, p. 57-67, 2012. Disponível em <<http://gorila.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2928/2076>> . Acesso em agosto de 2017.

PENA, Rodolfo F. Alves. **O problema das enchentes**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>>. Acesso em abril de 2017.

PINTO, L.L.C.A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. Tese doutorado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia Hidráulica. São Paulo, 2011 Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011-160233/en.php>

PULITI, D.T.C.; BOARETO, F.T.; COLTRO, F.E.; NAVEGA, P.P.B. **Pavimentos porosos e sua influência na drenagem urbana**. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2012.

QUADRADO, A. **Ocupação em áreas sujeitas a inundação**. 27/07/2016. Disponível em <<http://auladoquadrado.blogspot.com.br/2016/07/ocupacao-em-areas-sujeitas-inundacao.html>>. Acesso em agosto de 2017.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de Drenagem na Fonte por Poços de Infiltração de Águas Pluviais**. Ambiente Construído – Revista da ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), v.8, n.2, 2008, p. 99-117.

ROCHA, S. Pavimento sustentável. Piso intertravado. **Revista Prisma**, ed.47, maio de 2013.

SILVA, A.C.; LOPES, L.S.O.; SILVA, J.C.B. Desastres naturais e percepção de risco da população: um estudo de caso da inundação em Palmares - PE em 2010 **Revista de Geografia (Recife)** V. 33, No. 2, 2016. Disponível em <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/geografia/article/view/9395>>. Acesso em agosto de 2017.

SUZUKI, C.Y.; AZEVEDO, A.M.; KABBACH JR. F.A. **Drenagem superficial de pavimentos; conceitos e dimensionamento**. Oficina de textos. São Paulo, 2013.

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais**. Capítulo 60. Pavimento poroso. 30/04/2009. Disponível em <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_poluicao_diffusa/capitulo60.pdf>. Acesso em agosto de 2017.

VIRGILIS, A.L.C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação mestrado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia Civil. São Paulo, 2009. Disponível em

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/pt-br.php>>. Acesso em agosto de 2017.