Sistemas Construtivos

Pavimentos Permeáveis



Melhores Práticas

Pavimento Intertravado Permeável

Associação
Brasileira de
Cimento Portland



MARCHIONI, Mariana & SILVA, Cláudio Oliveira
Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas.
São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010. 24p.

Pavimento - Permeável
Pavimento - Intertravado

Sistemas Construtivos

Pavimentos Permeáveis

Melhores Práticas

Pavimento Intertravado Permeável

Associação Brasileira de Cimento Portland

dezembro 2010

Sumário

Introdução 5

Legislação 9

Projeto de pavimento permeável 10

1. Seção tipo 10

2. Informações do empreendimento 10

3. Materiais para base e sub-base 11

4. Materiais para camada de assentamento e rejunte 12

5. Revestimento 13

6. Pré-dimensionamento das camadas de base e sub-base 14

Execução do pavimento permeável com peças pré-moldadas de concreto 16

Manutenção 18

Desempenho 19

Anexo A 20

Referências Bibliográficas 22

Introdução

Atualmente tem se verificado a crescente impermeabilização das superfícies resultante da urbanização das cidades. Em uma área com cobertura florestal, 95% da água da chuva se infiltra no solo, enquanto que nas áreas urbanas este percentual cai para apenas 5%. Com a drenagem da água através do solo, prejudicada devido às vias pavimentadas e o grande número de construções, o escoamento e o retorno ao lençol freático tornam-se mais difíceis, resultando em alterações nos leitos dos rios e dos canais e aumento no volume e constância das enchentes.









Figura 1 - Percentuais de infiltração de água da chuva (INTERPAVE, 2008)



Figura 2 - Estacionamento utilizando pavimento permeável

Este problema é agravado pelo efeito das "ilhas de calor", onde o aumento de temperatura em áreas densamente povoadas acaba por intensificar a precipitação.

Além dos impactos decorrentes diretamente do escoamento da água, o acúmulo de detritos diversos nas superfícies das ruas, calçadas, estacionamentos e garagens acabam sendo levados para os rios e canais durantes as enxurradas. Este tipo de poluição é ainda mais difícil de controlar por não possuir uma fonte pontual definida, como o caso da descarga de esgoto de uma fábrica ou de uma residência.

Uma das alternativas para reduzir estes impactos é a utilização de pavimentos permeáveis, que podem ser utilizados como via para pedestres, estacionamentos e para tráfego de veículos ao mesmo tempo que permitem a infiltração da água, colaborando assim com a diminuição das superfícies impermeabilizadas na cidade. Estes pavimentos reduzem o escoamento superficial em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e retardam a chegada da água ao subleito reduzindo a erosão. A camada de base granular ainda funciona como um filtro para a água da chuva, reduzindo a sua contaminação. Podem ser utilizados em pátios residenciais, comerciais e industriais, estacionamentos, calçadas e vias de tráfego leve.

- Mantém a área útil do terreno
- Reduzem em até 100% as enxurradas
- Reduzem a erosão
- Melhoram a qualidade da água
- Reduzem os gastos com recursos de drenagem como os "piscinões"

Os pavimentos permeáveis são definidos como aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura onde a água e o ar podem atravessar.

A camada de revestimento dos pavimentos permeáveis nos sistemas à base de cimento pode ser executada utilizando concreto poroso moldado in loco ou peças pré-moldadas de concreto.

O concreto poroso moldado in loco possui poros que permitem a infiltração de água, para isso utilizam-se agregados com poucos ou sem finos, resultando nos vazios por onde a água passa. (Figura 3)

Figura 3 - Pavimento permeável com revestimento de concreto poroso



Também podem ser utilizadas peças pré-moldadas de concreto, que dependendo da sua dimensão são classificadas como peças de concreto para pavimentação intertravada (Figura 4) ou como placas de concreto (Figura 5).



Figura 4 - Pavimento intertravado permeável

RELAÇÃO COMPRIMENTO/ESPESSURA

- > 4 peças de concreto para pavimento intertravado
- < 4 placas planas de concreto



Figura 5 - Pavimento permeável com revestimento de placas de concreto

O revestimento deve permitir a passagem rápida da água, que então fica armazenada por um período nas camadas de base e sub-base, funcionando como reservatório e filtro.

Quaisquer tipos de pavimentos, sendo eles permeáveis ou não, precisam suportar as cargas as quais são solicitados, e transmiti-las ao solo em uma magnitude que ele suporte. No caso dos pavimentos permeáveis, a estrutura dos pisos precisa ser feita de modo a escoar a água infiltrada para o solo ou para um sistema de drenagem.

A seção tipo para revestimento utilizando peças pré-moldadas de concreto é basicamente a da Figura 6.

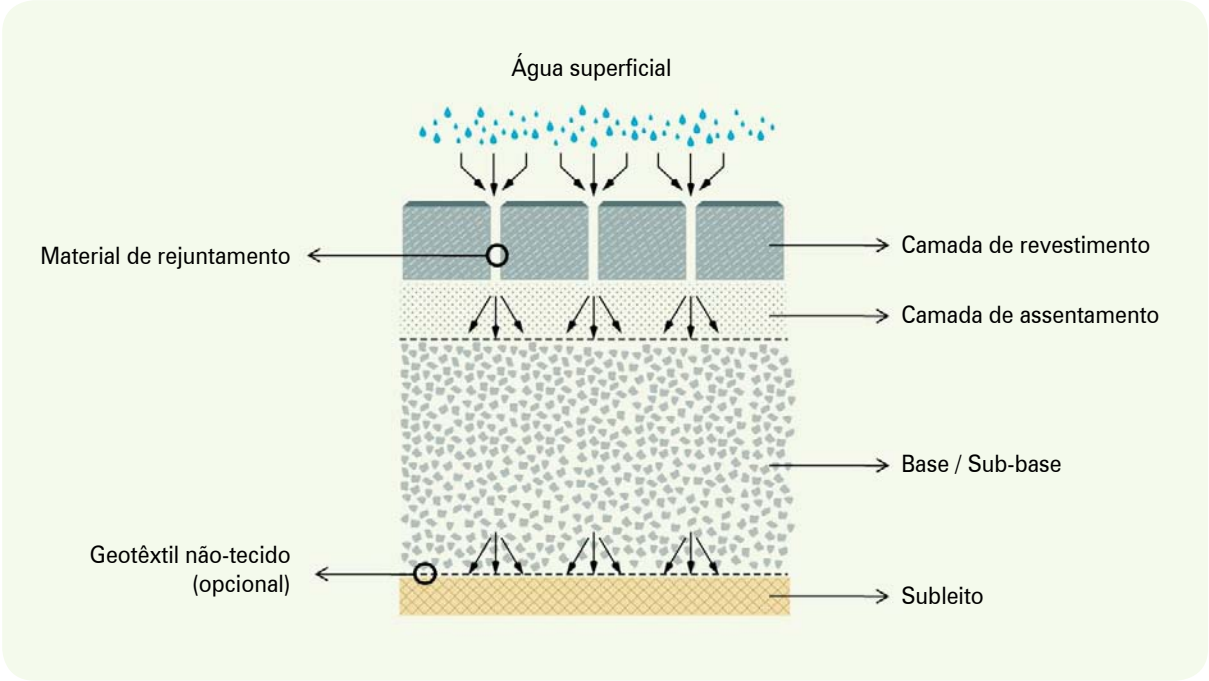


Figura 6 - Seção tipo de um pavimento permeável

Para controlar a impermeabilização das superfícies nas grandes cidades é comum as prefeituras exigirem que uma parcela do terreno seja mantida livre de pavimentação, geralmente variando entre 15% a 30% do terreno. Porém nem sempre é possível facilmente atender este requisito. Uma forma de conseguir atender a legislação da cidade e ao mesmo tempo manter a área útil do terreno é através da utilização dos pavimentos permeáveis.

Vale ressaltar, que os pavimentos permeáveis podem contribuir muito mais que áreas urbanas livres de pavimentação, em relação à crescente impermeabilização das cidades.

Isto se justifica, pois na maioria das vezes estas áreas livres de pavimentação, já se encontram compactadas, e mesmo quando apresentam cobertura vegetal os solos apresentam camadas inferiores com alto grau de compactação, resultando em baixo coeficiente de percolação de água.

Outra vantagem dos pavimentos permeáveis é que eles promovem um retardo da chegada da água do terreno ao sistema de drenagem da cidade, fator que já é levado em conta em projetos de grande porte, como shopping centers e supermercados.



Figura 7 - Estacionamento do colégio Freedom, em Herndon, Virginia

1. Seção tipo

A seção tipo (Figura 8) do pavimento intertravado permeável consiste no revestimento, camada de assentamento, base e sub-base, tubulação de drenagem, também quando necessário e subleito.

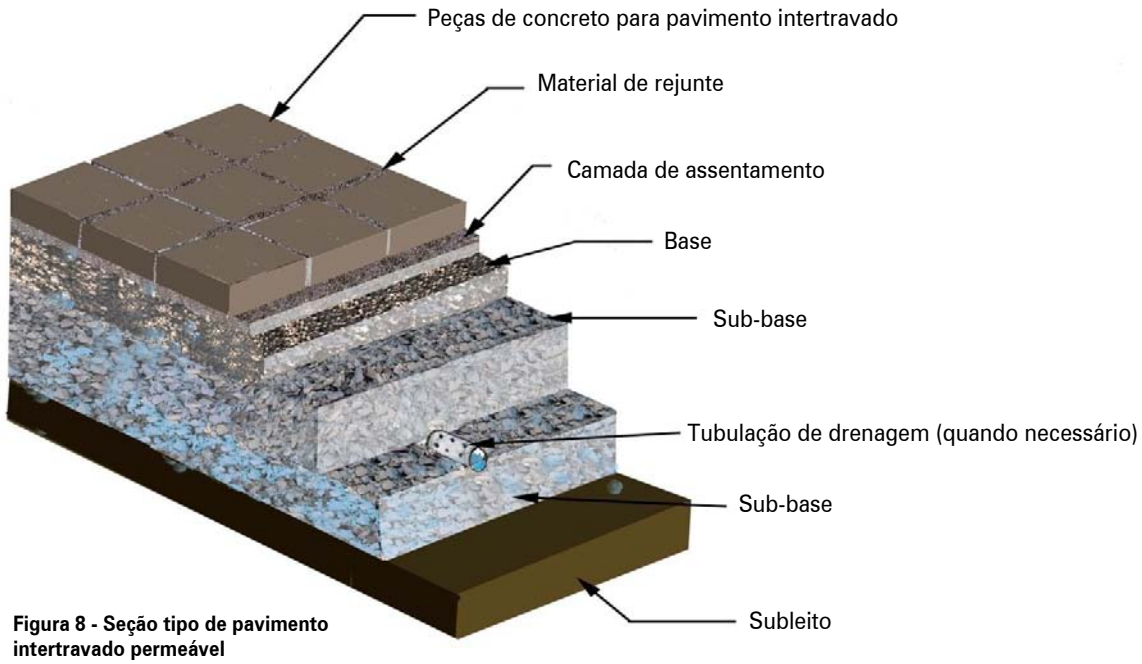


Figura 8 - Seção tipo de pavimento intertravado permeável

A camada de assentamento possui espessura de 50 mm, e tem como principal função fornecer uma superfície uniforme para assentamento das peças de concreto prémoldadas. A base e sub-base devem ser dimensionadas para cada caso, assim como deve ser verificado a necessidade da tubulação de drenagem.

2. Informações do empreendimento

Alguns itens devem ser checados inicialmente para garantir a viabilidade da instalação do pavimento permeável. As áreas de contribuição não podem exceder em cinco vezes a área do pavimento e recomenda-se, no mínimo, 30 m de distância entre córregos, reservatórios de água e pântanos. Recomenda-se uma declividade do pavimento de no mínimo 1% e no máximo de 5%, caso contrário a velocidade do escoamento superficial reduz a sua infiltração. Nas áreas no entorno do pavimento devem ser evitadas declividades superiores a 20%.

Devem ser conhecidos os dados de precipitação do local, sendo primeiramente definido o período de retorno do projeto, normalmente de 5 a 10 anos para projetos de micro drenagem, caso dos pavimentos permeáveis. Com este dado definido e com os valores de precipitação do local se obtém a precipitação que será utilizada para dimensionar o pavimento permeável.

Também devem ser conhecidos os dados de tráfego no local de implantação. Esse dado é expresso em solicitações equivalentes ao eixo padrão de 18000 kip (80 kN) e normalmente se adota a vida útil do pavimento de 20 anos.

Por fim, são ainda necessários dados do subleito para o dimensionamento sendo o tipo de solo, a capacidade de suporte e o coeficiente de permeabilidade, dados utilizados para dimensionar a camada de base do pavimento permeável.

A capacidade de suporte do solo é determinada através da norma brasileira NBR 9895 - Solo: Índice de Suporte Califórnia.

Já o coeficiente de permeabilidade pode ser determinado através dos métodos de ensaios descritos nas normas brasileiras NBR 13292 - Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio ou NBR 14545 - Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Na Tabela 1 estão descritos alguns valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos:

DADOS PARA PROJETO

- Precipitação na região
- Tráfego no local
- Coeficiente de permeabilidade do solo
- Capacidade de suporte do solo

TABELA 1 - VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (PINTO, 2002).

Argilas	$< 10^{-9}$ m/s
Siltes	10^{-6} a 10^{-9} m/s
Areias argilosas	10^{-7} m/s
Areias finas	10^{-5} m/s
Areias médias	10^{-4} m/s
Areias grossas	10^{-3} m/s

Quanto mais baixo o coeficiente de permeabilidade, menos permeável é o solo. Para utilização de pavimentos permeáveis em solos muito pouco permeáveis pode ser necessário a utilização de tubos de drenagem. Dessa forma evita-se que a água permaneça muito tempo na estrutura do pavimento podendo ocasionar perda de suporte.

3. Materiais para base e sub-base

Para a base e sub-base utiliza-se brita lavada com Abrasão Los Angeles menor que 40, determinado de acordo com a norma brasileira NBR NM 51 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles". É necessário um Índice de Suporte Califórnia (CBR) de pelo menos 80%, determinado de acordo com a norma brasileira NBR 9895 - Solo: Índice de Suporte Califórnia. A capacidade de atuar como reservatório de água da base e sub-base vai depender do índice de vazios do agregado, que é determinado de acordo com a Norma Brasileira NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios que deve ser de, no mínimo, 32%.

Na Tabela 2 a seguir estão as granulometrias sugeridas para a base e sub-base:

TABELA 2 - GRANULOMETRIA RECOMENDADA PARA CAMADAS DE SUB-BASE E BASE DE UM PAVIMENTO PERMEÁVEL

Peneira com abertura de malha	Sub-base	Base
75 mm	0	
63 mm	0 a 10	
50 mm	30 a 65	
37 mm	85 a 100	0
25 mm		0 a 5
19 mm	95 a 100	
12,5 mm		40 a 75
4,75 mm		90 a 100
2,36 mm		95 a 100

Outras granulometrias de agregados podem ser utilizadas desde que atendido o critério de índice de vazios mínimo de 32% e ISC de 80%, garantindo assim a capacidade de armazenar água.

4. Materiais para camada de assentamento e rejunte

Nos pavimentos permeáveis o assentamento das peças pré-moldadas de concreto é feito utilizando agregado graúdo com dimensão máxima igual a 9,5 mm, com granulometria recomendada de acordo com a Tabela 3. Um aspecto de grande importância no agregado da camada de assentamento é que ele tenha dimensão suficiente para garantir uma superfície uniforme para o assentamento das peças pré-moldadas de concreto mas que também ocorra um travamento com a camada de base. Para que isso ocorra os agregados da camada de base e da camada de assentamento devem atender o seguinte critério:

D_{15} base / D_{15} assentamento < 5 e D_{50} base / D_{50} assentamento >2

Onde:

D_x = dimensão onde x% dos agregados é mais fino.

Para o material de rejunte das peças pode ser usado o mesmo agregado utilizado na camada de assentamento, porém é permitido usar agregados mais finos para garantir o preenchimento das juntas, conforme granulometria recomendada na Tabela 3.

TABELA 3 - GRANULOMETRIA RECOMENDADA PARA CAMADAS DE ASSENTAMENTO E MATERIAL DE REJUNTE PARA PAVIMENTO PERMEÁVEL

Peneira com abertura de malha	Camada de assentamento e material de rejunte	Material de rejunte	
12,5 mm	0	0	
9,5 mm	0 a 15	0 a 10	0
4,75 mm	70 a 90	45 a 80	0 a 15
2,36 mm	90 a 100	70 a 95	60 a 90
1,16 mm	95 a 100	90 a 100	90 a 100
0,300 mm		95 a 100	95 a 100

Nota: A escolha do material de rejuntamento irá depender da espessura das juntas entre as peças. Quanto maior a espessura das juntas, menor será o intertravamento do pavimento.

A capacidade de infiltração em um pavimento permeável onde a passagem da água ocorra pelas juntas é determinado pela capacidade de infiltração do agregado utilizado no material de rejunte. Essa capacidade pode ser estimada considerando a porcentagem de juntas no pavimento permeável e o coeficiente de permeabilidade do agregado, sendo recomendado adotar um coeficiente de segurança de 80% devido a colmatação do rejuntamento ao longo da vida útil do pavimento.

Não é recomendada a utilização de areia ou pó de pedra na camada de assentamento e no material para rejunte, devido ao baixo coeficiente de permeabilidade destes materiais.

5. Revestimento

As peças pré-moldadas de concreto que possuem relação comprimento/espessura menor que 4 são apropriadas para tráfego de veículos e são utilizadas no pavimento intertravado permeável. Este sistema de revestimento pode permitir a infiltração de água por aberturas específicas para esse fim, pelas juntas de assentamento ou através das próprias peças, quando confeccionadas com concreto poroso (Figura 9).



Figura 9 - Camada de revestimento do pavimento permeável intertravado: peças de concreto com aberturas específicas para infiltração de água (esquerda), com infiltração pelas juntas de assentamento (centro) e com peças de concreto poroso (direita).

As peças de concreto para pavimentação devem atender os requisitos da NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação, sendo de concreto convencional ou de concreto poroso.

No caso das peças porosas, além da resistência à compressão também é necessário verificar o coeficiente de permeabilidade do concreto.

Para estimar este coeficiente pode ser utilizado um permeâmetro de carga variável conforme equipamento na Figura 10 que permite o ensaio com o corpo de prova completamente saturado.

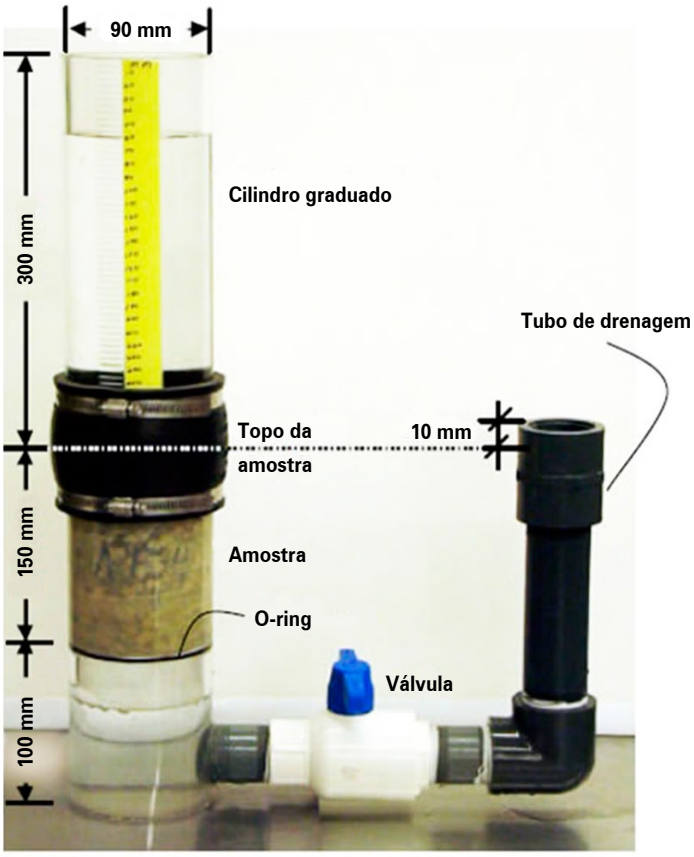


Figura 10 - Permeâmetro de carga variável (Neithalath et al, 2003)

6. Pré-dimensionamento das camadas de base e sub-base

São necessários dois dimensionamentos nos pavimentos permeáveis: o dimensionamento mecânico e o hidráulico. O primeiro trata da carga a qual será submetido o pavimento e o segundo do volume de água que o pavimento deverá armazenar.

• Pré-dimensionamento hidráulico

Para o dimensionamento hidráulico devem ser conhecidos os dados de precipitação da região e o coeficiente de permeabilidade do solo, e também ser avaliado o risco de contaminação da água. Com esses dados se escolhe o tipo de infiltração do sistema, que pode ser de infiltração total, infiltração parcial ou sem infiltração (Figura 11).

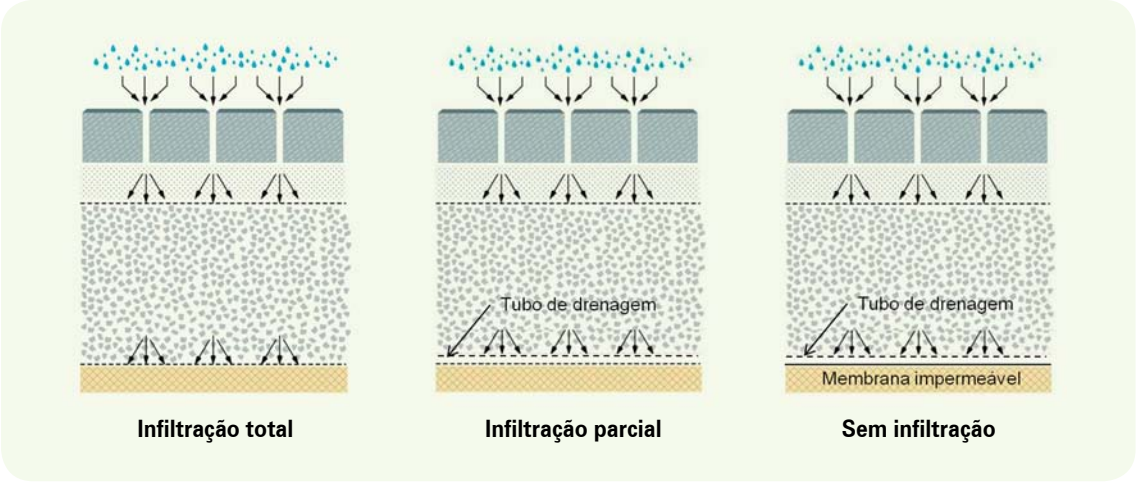


Figura 11 - Tipos de sistemas de infiltração

No sistema de infiltração total, toda a água da chuva é direcionada ao subleito. Já no sistema de infiltração parcial, são instalados tubos de drenagem para complementar a drenagem do excesso de água. No caso do solo ter permeabilidade muito baixa ou ocorrer risco de contaminação de água utiliza-se o sistema sem infiltração, onde toda a água é direcionada a um sistema de drenagem.

No método proposto pelo ICPI – *Interlocking Concrete Pavement Association* determina-se a profundidade mínima da camada de base necessária para armazenar a diferença entre o volume de água precipitada e infiltrada pelo solo. Para isso utiliza-se a Equação 1, que relaciona os parâmetros necessários para calcular estes volumes.

$$h_b = \frac{\Delta QcR + P - fT}{Vr}$$

Equação 1

onde:

h_b = altura da base granular

ΔQc = área de contribuição

R = quociente da área de contribuição e da área do pavimento

P = altura da chuva de projeto

f = coeficiente de permeabilidade do solo

T = tempo de enchimento do reservatório

Vr = porosidade do agregado

Recomenda-se utilizar como chuva de projeto a máxima altura de precipitação em 24 h para o tempo de retorno definido em projeto. A Equação 1 considera o tempo de enchimento do reservatório *T*, ou seja, o tempo que leva para o reservatório ficar saturado na ocorrência da chuva de projeto. Recomenda-se adotar 2 h para este parâmetro. São necessárias duas verificações para a altura da base granular h_b, a altura máxima da base permitida $h_{máx}$ e o nível do lençol freático.

Para a verificação do $h_{máx}$, utiliza-se a Equação 2:

$$h_{máx} = f \times \frac{Ts}{Vr}$$

Equação 2

onde:

Ts = tempo máximo de armazenamento de água.

Esta verificação tem como objetivo evitar que altura da base granular h_b permita que a água permaneça na base um período maior que o tempo máximo de armazenamento de água *Ts*.

Também deve ser verificada a distância do lençol freático, onde a parte inferior da base deve estar no mínimo à 0,6 m de distância do lençol freático.

Deve ser considerado o pior caso entre as duas verificações, e caso aprovadas o valor h_b é adotado como espessura da base. Caso o valor de $h_{máx}$ seja inferior ao h_b é necessário complementar o sistema com tubulação de drenagem para o manejo do excesso de água, sendo assim utilizado um sistema de infiltração parcial ou sem infiltração.

- **Pré-dimensionamento mecânico**

Para o pré-dimensionamento mecânico da camada de base do pavimento permeável pode ser utilizada a Tabela 4, sendo conhecidos a capacidade de suporte do solo e o número de soluções equivalentes para um projeto de vida útil de 20 anos.

TABELA 4 - RECOMENDAÇÃO DE ESPESSURA MÍNIMA DA CAMADA DE BASE (SMITH, 2006).

	Índice de Suporte Califórnia do Subleito		
Solicitações equivalentes para 20 anos*	>15	10 a 14	5 a 9
50,000	125	175	225
150,000	150	200	275
600,000	175	225	350

* Solicitações equivalentes ao eixo padrão de 18 kip = 80 kN

Nota: Todas as espessuras são consideradas após compactação e são aplicáveis para todas as condições de infiltração. Para aplicações de tráfego de pedestres a espessura mínima recomendada é de 150 mm.

Adota-se como espessura da camada de base e sub-base o maior valor entre o dimensionamento hidráulico e mecânico. A camada de base tem dimensão fixa de 100 mm e a camada de sub-base terá como dimensão a diferença para atingir o valor total dimensionado.

A execução é similar ao pavimento intertravado convencional, porém utilizando materiais diferentes para as camadas da estrutura do pavimento.

Na Figura 12 estão descritas as etapas para a execução do pavimento:



Figura 12 - Etapas para a execução de um pavimento permeável com peças pré-moldadas de concreto

Etapa 1: Preparação do subleito

O subleito poderá ser constituído pelo solo natural do local ou proveniente de empréstimo, devendo apresentar índice de suporte Califórnia (CBR) maior que 2% e expansão volumétrica menor ou igual a 2%. Toda a camada de subleito deve estar limpa, sem a presença de plantas, raízes e qualquer tipo de matéria orgânica. Antes da execução da base e sub-base deve ser verificado se o subleito atende a cota e os caimentos definidos no projeto. Quando existente, a tubulação de drenagem deve ser feita conforme projeto e direcionada para uma caixa de detenção ou para sistema de drenagem.

Etapa 2: Posicionamento da manta geotêxtil não-tecido

Quando especificado em projeto, a manta geotêxtil tem como principal função evitar o carreamento de finos para a camada de sub-base. A manta deve ser posicionada logo acima do subleito e deve ser deixada uma sobra nas laterais de 0,3 m no caso de solos com Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior que 5 e de 0,6 m em solos mais fracos, com CBR menor ou igual a 5.

Etapa 3: Execução das camadas de sub-base e base

A sub-base é espalhada em camadas de 100 mm a 150 mm e compactada usando uma placa vibratória ou um rolo compactador. A base possui uma espessura de 100 mm e pode ser executada em uma camada e compactada utilizando placa vibratória ou rolo compactador.

Etapa 4: Assentamento das peças pré-moldadas de concreto

Antes de iniciar a execução da camada de assentamento devem ser posicionadas as contenções laterais que garantam a estabilidade horizontal do sistema. Estas são constituídas de estrutura rígida ou de dispositivos fixados na base do pavimento, de modo a impedir o seu deslocamento. A camada de assentamento deve ser espalhada uniformemente com uma espessura suficiente para que após compactação tenha uma espessura final de 50 mm. O material de assentamento é então nivelado manualmente por meio de régua metálica, correndo a régua sobre as mestras ou de modo mecanizado, resultando em uma superfície sem irregularidades. Após o nivelamento a camada de assentamento não deve ser submetida ao tráfego de equipamentos ou pedestres antes da instalação das peças de concreto. Os espaços deixados pela régua metálica devem ser preenchidos com material de assentamento.

O assentamento das peças pode ser manual ou mecanizado, e deve ser executado sem modificar a espessura e uniformidade da camada de assentamento.

A primeira fiada deve ser assentada de acordo com o padrão de assentamento estabelecido no projeto, respeitando-se o esquadro e o alinhamento previamente marcados e a peça não deve ser arrastada sobre a camada de assentamento até sua posição final. Manter as linhas guia na frente da área de assentamento das peças, verificando-se regularmente o alinhamento longitudinal e transversal e efetuar os ajustes de alinhamento das peças, mantendo-se a espessura das juntas uniforme.



Figura 13 - Note que o material de rejunte fica 5 mm abaixo do topo da peça.

Etapa 5: Rejuntamento

Após assentar as peças, espalhar o material de rejuntamento seco sobre a camada de revestimento, formando uma camada fina e uniforme em toda a área executada e então se executa a varrição do material de rejuntamento até que as juntas entre as peças e destas com a contenção lateral, sejam preenchidas a 5 mm do topo das peças (Figura 13).

Etapa 6: Compactação

A compactação deve ser executada utilizando-se placas vibratórias, que proporcionem a acomodação das peças na camada de assentamento, mantendo a regularidade da camada de revestimento sem danificar as peças de concreto e seguindo os seguintes critérios:

- a compactação deve ser realizada com sobreposição entre 15 cm a 20 cm em cada passada sobre a anterior;
- alternar a execução da compactação com o espalhamento do material de rejuntamento, até que as juntas tenham sido preenchidas até 5 mm do topo do pavimento.
- a compactação deve ser executada aproximadamente até 1,5 m de qualquer frente de trabalho do assentamento, que não contenha algum tipo de contenção.

Os sedimentos que se acumulam no pavimento permeável tendem a diminuir a sua capacidade de infiltração com o tempo. Considera-se que em 10 anos o pavimento permeável tenha uma redução de 90% nessa capacidade. A velocidade que o acúmulo de sedimentos ocorre depende do volume de tráfego e da existência de fontes de sedimentos próximos ao pavimento, como jardins e áreas propensas a carreamentos de sólidos.

Os sedimentos, porém, ficam limitados ao topo do rejunte do pavimento, dessa forma após esse período pode ser feita a substituição do material de rejuntamento, devolvendo assim ao pavimento sua capacidade de infiltração.

Para aumentar a vida útil do pavimento permeável recomenda-se uma limpeza anual retirando os sedimentos acumulados. Podem ser utilizados equipamento de aspiração para limpeza do pavimento permeável.

Outro item que deve ser observado é o crescimento de vegetação nas juntas, que devem ser retirados, pois afetam a infiltração de água.



Figura 14 - Pavimento permeável com colmatação das juntas devido ao acúmulo de sedimentos



Figura 15 - Crescimento de vegetação nas juntas de pavimentos permeáveis

O desempenho de um pavimento permeável após sua instalação pode ser verificado através do ensaio para determinar o coeficiente de permeabilidade, conforme método do ANEXO A. Nesse ensaio, uma seção do pavimento é confinada num cilindro de 300 mm, aplicando-se um volume, de 20 litros de água, mantendo-se uma coluna constante de 10 a 15 mm, determinando-se o tempo de infiltração

Esse ensaio pode ser feito periodicamente para atestar a capacidade de infiltração do pavimento e verificar a necessidade de manutenção.



Figura 16 - Ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade de um pavimento permeável

Método de ensaio para coeficiente de infiltração em pavimento permeável (ASTM C1701)

Um anel de infiltração é temporariamente selado na superfície de um pavimento permeável. Depois de pré-molhar o local do teste, uma certa massa de água é adicionada no anel e é registrado o tempo para a água infiltrar no pavimento. O coeficiente de infiltração é calculado de acordo com a equação no item Cálculo.

Equipamentos

- **Cilindro para infiltração:** um anel cilíndrico, aberto dos dois lados. O cilindro deve ser resistente a água, com rigidez suficiente para não deformar quando cheio de água e deve ter um diâmetro de 300 ± 100 mm com uma altura mínima de 50 mm. A superfície inferior do cilindro deve ser uniforme. Na superfície interna do cilindro devem ser marcadas duas linhas com distâncias de 10 mm e 15 mm da superfície inferior do anel. Meça e registre o diâmetro interno do cilindro com precisão de 1 mm.
- **Balança:** balança com escala de 10 g.
- **Recipiente:** um recipiente cilíndrico normalmente feito de plástico tendo um volume mínimo de 20 l e de onde a água possa facilmente ser derramada em um volume controlado no cilindro de infiltração.
- **Cronômetro:** precisão de 0,1 s.
- **Massa de calafetar**
- **Água**

Locais para testes

Realizar o teste em diferentes pontos no local conforme especificado pelo solicitante do teste. Salvo em casos específicos, use o seguinte número de testes:

- Três locais para áreas até 2500 m^2
- Fazer mais um teste para cada 1000 m^2 adicionais
- Deixe pelo menos 1 m livre de distância entre os locais testados, salvo quando tiver um intervalo de pelo menos 24 h.
- Não execute o teste caso haja água na superfície do pavimento. Não execute menos de 24 h da última precipitação.

Procedimento

- **Instalação do cilindro de infiltração:** limpe o pavimento apenas varrendo o lixo, sedimentos e outros materiais que não estejam aderidos ao pavimento. Aplique massa de calafetar na superfície inferior do cilindro e o coloque no pavimento permeável em teste. Pressione a massa de calafetar na superfície e em volta da superfície inferior do cilindro para selar completamente a parte inferior do mesmo.
- **Pré-molhagem:** despeje água no interior do cilindro com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações. Use um total de 3,60 ± 0,05 kg de água. Inicie o cronômetro assim que a água atinja a superfície do pavimento permeável. Pare o cronômetro quando não houver mais água livre na superfície do pavimento permeável. Registre o tempo com precisão de 0,1 s.

- **Teste:** O teste é iniciado em até 2 min depois da pré-molhagem. Se o tempo no estágio de pré-molhagem foi inferior a 30 s, use um total de 18 ± 0,05 kg de água. Se o tempo no estágio de pré-molhagem foi superior a 30 s, use um total de 3,60 ± 0,05 kg de água. Registre o peso da água com precisão de 10 g. Despeje a água no anel de forma que o nível de água se mantenha entre as duas marcações e até que se despeje todo o volume de água. Inicie o cronômetro assim que a água atinja o pavimento permeável. Pare o cronômetro assim que não se observe mais água na superfície do pavimento permeável. Registre o tempo com precisão de 0,1 s.

Nota: se o pavimento tiver uma inclinação, mantenha o nível de água entre as duas marcas no cilindro na parte mais baixa do aclive.

Se o teste for repetido no mesmo ponto, o segundo teste não requer o procedimento de pré-molhagem se for realizado em até 5 min do primeiro teste. Se mais de um teste for feito em um local no mesmo dia, a taxa de infiltração naquele local deve ser calculada como a média dos dois testes. Não repita este teste mais que duas vezes no mesmo local no mesmo dia.

Cálculo

Calcule o coeficiente de infiltração (**I**) usando a seguinte equação:

$$I = \frac{KM}{(D^2\, t)}$$

Equação 3

Onde:

I = coeficiente de infiltração (mm/h)

M = massa de água infiltrada (kg)

D = Diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm)

t = tempo necessário para toda a água infiltrar no pavimento permeável (s)

K = 4 583 666 000 (SI) (para converter as unidades)

Referências Bibliográficas

ALVES FILHO, A. P.; RIBEIRO, H. **Configuração espacial de eventos de precipitação extrema na região metropolitana de São Paulo: interações entre a ilha de calor e a penetração da brisa oceânica**. INTERFACEHS, 2006.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDEFUM J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG. Porto Alegre, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças de concreto para pavimentação – Especificação**. NBR 9781. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Solo - Índice de Suporte Califórnia**. NBR 9895. RJ, 1987.

_____. **Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de Ensaio**. NBR 13292. RJ, 1995.

_____. **Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável**. NBR 14545. RJ, 2000.

_____. **Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"**. NBR NM 51. RJ, 2001.

_____. **Agregados. Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. NBR NM 45. RJ, 2006.

BSI – BRITISH STANDARTS. **Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers**. Part 13: Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers. BS 7533-13:2009. Londres, 2009.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. 2ª edição. São Paulo, 1980.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**. Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.

INTERPAVE. **Permeable pavements: Guide to design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements**. Publicação L534:L217. Ed. 5. Leicester, 2008.

INTERPAVE. **Responsible rainwater management around the home**. Interpave – The Precast Concrete Paving & Kerb Association. Leicester, 2006.

NEITHALATH, N., WEISS, W.J. and OLEK, J. **Enhanced Porosity Concrete: Electrical Impedance, Acoustic Absorption and Hydraulic Permeability**. Presented at the ACI Fall Convention, Boston, 2003.

Olek, J., Weiss, W.J., Neithalath, N., Marolf, A., Sell, E. and Thornton, W.D. (2003). **Development of quiet and durable porous Portland cement concrete paving materials**. Final Report SQDH 2003-5, Purdue University, September, 172 pp.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2ª edição. São Paulo, 2002.

SMITH, D. R. **Permeable Interlocking Concrete Pavements**. ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute. Washington D.C., 2001.

SWAN, D. J. **Development of the permeable design pro permeable interlocking pavement design system**. 9th International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, 2009.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Urbanization and Streams: Studies of Hydrological Impacts**. Office of Water. Publicação 841-R-97-009. Washington D.C., 1997.

Associação
Brasileira de
Cimento Portland

Av. Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré - 05347-902 - São Paulo/SP