

Capítulo 60 Pavimento Poroso

Em aquífero confinado fala-se em superfície piezométrica e, num aquífero não confinado: superfície potenciométrica.

Darrel I. Leap in The Handbook of groundwater engineering.

Sumário

Ordem	Assunto
	Capítulo 60- Pavimento poroso (BMP)
60.1	Introdução
60.2	Pavimento poroso
60.3	Tipos de pavimentos porosos
60.4	Calculo do pavimento poroso segundo CIRIA, 2007
60.5	Tipos de pavimento conforme CIRIA, 2007
60.6	Equação de Darcy para quando há declividade
60.7	Vazão de saída da estrutura do pavimento quando não há declividade (plano)
60.8	Vazões em tubos de concreto
60.9	Chuvas intensas da RMSP
60.10	Eficiência do pavimento poroso
60.11	Critério de seleção
60.12	Limitações
60.13	Custos e manutenção
60.14	Pré-tratamento
60.15	Construção
60.16	Dados para projeto
60.17	Pavimento poroso de concreto
60.18	Critério usando determinado período de retorno e chuva de uma certa duração
60.19	Evaporação
60.20	Bibliografia e livros consultados

Capítulo 60 - Pavimento Poroso

60.1 Introdução

Existe basicamente dois tipos de pavimento: pavimento modular e pavimento poroso. No pavimento modular a água de chuva penetra pelas juntas e no pavimento poroso a água penetra na superfície do próprio material que pode ser asfalto ou concreto.

Iremos tratar neste capítulo somente de pavimento poroso.

60.2 Pavimento poroso

O conceito de pavimento poroso foi desenvolvido nos anos 1970, no *Franklin Institute* na Filadélfia, PA, USA. O *pavimento poroso* pode ser construído em asfalto ou concreto, conforme Figura (60.1). Permite que as águas pluviais que caem sobre o pavimento percolem no solo abaixo.

O pavimento poroso consiste de um pavimento de asfalto ou concreto onde não existem os agregados finos, isto é, partículas menores que 600 μ m (peneira número 30). O asfalto tem agregados com vazios de 40% e o concreto com 17%.



Figura 60.1- Concreto poroso permite que a água passa pelos espaços entre os poros do agregado. Fonte: <http://www.flowstobay.org/>

A principal aplicação do pavimento poroso é em estacionamento de veículos, mas pode ser aplicado em pátios, *playgrounds*, etc.

O pavimento poroso é uma BMP que reduz a área impermeável podendo ser feita a recarga das águas subterrâneas, melhorando a qualidade das águas pluviais.

O pavimento poroso é chamado também de pavimento permeável, conforme Urbonas, 1993.

A condutividade hidráulica mínima em que pode ser considerado a infiltração no solo é de 0,36mm/h conforme CIRIA, 2007.

A superfície de infiltração do pavimento poroso deve ter condutividade hidráulica maior que a intensidade de chuva conforme CIRIA, 2007.

A Tabela (60.1) apresenta o peso específico de vários tipos de concreto desde o tipo leve até o pesado.

Tabela 60.1 - Pesos específicos de concreto

Materiais	Peso específico (tf/m ³)
Concreto pesado	2,8 a 5,0
Concreto normal	2,0 a 2,8
Concreto leve	1,2 a 2,0

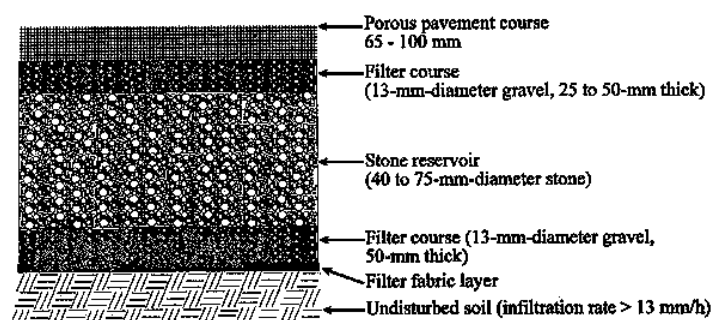


Figura 60.2 - Corte de um pavimento poroso
Fonte: FHWA, 2000

O pavimento poroso tem seis camadas, conforme Figura (60.2):

1ª camada: camada de asfalto: possui espessura de 65mm a 100mm.

O pavimento poroso possui 16% de vazios muito maiores que os 3% a 5%, comumente encontrado nos pavimentos comuns.

2ª camada: filtro granular com espessura de 25mm a 50mm e agregado de 13mm.

Serve para estabilizar a camada de asfalto ou concreto.

3ª camada: reservatório de pedra com diâmetro de 40mm a 75mm (pedra britada nº3 e nº4).

Em áreas onde há congelamento do solo a profundidade de congelamento pode variar de 0,61m a 1,22m. O reservatório de pedra deverá ser drenado em 24h a 72h.

Adoto 0,25m a altura mínima do reservatório de pedra.

4ª camada: filtro granular que serve como uma interface entre o reservatório e o geotêxtil. Consiste em uma camada de 50mm com agregados de 13mm.

5ª camada: geotêxtil.

6ª camada: solo nativo que deverá ter condutividade hidráulica no mínimo 0,36mm/h conforme CIRIA, 2007..

O lençol freático deverá estar no mínimo a 1,20m do fundo do pavimento poroso.

A Figura (60.3) mostra um asfalto normalmente usado sendo que o runoff vai para o asfalto poroso.



Figura 60.3 – Mostra, a esquerda, o asfalto tradicional que leva o runoff para a direita, onde está o asfalto poroso.

Fonte: Stormwater Features, internet <http://www.forester.net>

Uma das vantagens do pavimento poroso em asfalto segundo Daywater, 2003 é que gera menos barulho dos veículos, reduz o splash das chuvas e diminui o problema de aquaplanagem.

60.3 Tipos de pavimentos porosos

Os pavimentos podem ser de concreto, asfalto, pedras britadas ou grama adensada em estruturas de concreto ou de PVC.

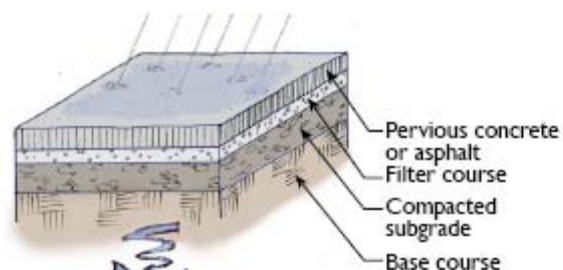


Figura 60.4- Pavimento poroso em concreto.

Fonte: <http://www.flowstobay.org/>

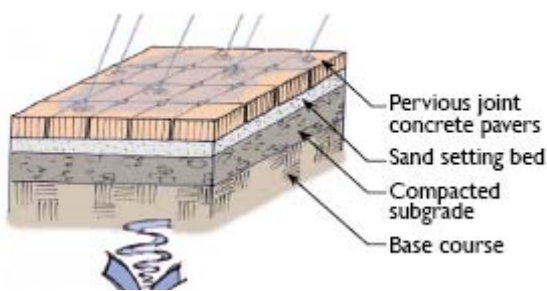


Figura 60.5- Concreto poroso em blocos.
 Fonte: <http://www.flowstobay.org/>

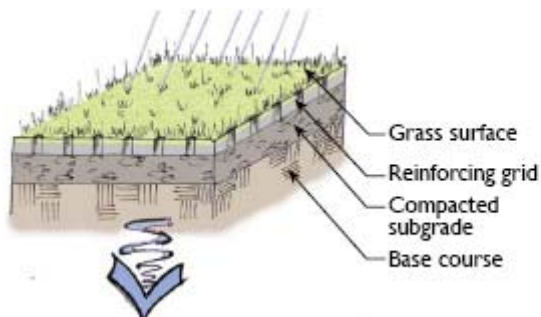


Figura 60.6- Pavimento poroso com grama reforçada que permite que a água passe pela zona das raízes e vá até o solo ficando uma superfície resistente inclusive para passagem de veículos.
 Fonte: <http://www.flowstobay.org/>

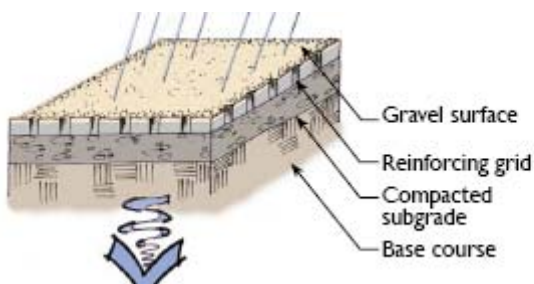


Figura 60.7- Pavimento poroso com pedregulhos.
 Fonte: <http://www.flowstobay.org/>

60.4 Cálculos do pavimento poroso segundo CIRIA, 2007

Os cálculos do pavimento poroso é semelhante ao pavimento modular, sempre salientando que a condutividade hidráulica do pavimento deve ser maior que a intensidade da chuva. O fator limitante como sempre é o solo.

Conforme CIRIA, 2007 a profundidade máxima da água numa **região plana** de infiltração é:

$$h = (D/n) \times (R \cdot i - q)$$

Sendo:

h= profundidade máxima da camada de pedras britadas (m)

D= duração da chuva (h)

i= intensidade da chuva (mm/h) conforme período de retorno adotado

q=condutividade hidráulica do solo (m/h)

R= razão entre a área drenada com a área de infiltração= $R=A_D/A_b$

A_D = área drenada (m²)

A_b =base da área do sistema de infiltração (m²)

n= porosidade do material (volume dos vazios/volume total)

Para infiltração em pavimento **com subbase** de pedras britadas e $A_D=A_b$ fazemos o valor de $R=1$ e teremos:

$$h = (D/n) \times (i - q)$$

Para infiltração em pavimentos **sem subbase** fazemos $R=1$ e $n=1$,

$$h = D \times (i - q)$$

Na prática podemos impor um certo valor da altura h_{max} e obtermos a área da base da infiltração A_b .

$$A_b = (A_D \cdot i \cdot D) / (n \cdot h_{max} + q \cdot D)$$

Exemplo 60.1

Dimensionar um pavimento poroso de concreto com 10cm de altura e com porosidade de 30%, sendo a permeabilidade medida do solo $K=7\text{mm/h}$ para uma área de 100m^2 .

Cálculo do volume V_r

$$h = (D/n) \times (i - q)$$

$D=60\text{min}=1,00\text{h}$ (tempo de duração da chuva para $T_r=5\text{anos}$ na RMSP)

$i=51,8\text{mm/h}=0,0518\text{m/h}$ (intensidade da chuva) Tabela (15.7)

$q=7\text{mm/h}=0,007\text{m/h}=K$

$n=0,30$

$$h = (D/n) \times (i - q)$$

$$h = (1,00/0,30) \times (0,0518 - 0,007) = 0,15\text{m}$$

Adoto o mínimo de $h=0,30\text{m}$

As camadas são:

- Blocos de concreto porosos com altura de 0,10m.
- Camada de areia grossa de 0,05m a 0,10m.
- Camada de pedra britada nº3 com espessura de 0,30m.
- Instalação de geotêxtil (bidim).
- Solo nativo.

Nota: as juntas do bloco de concreto podem ser preenchidas com pedrisco.

60.5 Tipos de pavimento conforme CIRIA, 2007

O SUDS MANUAL do CIRIA, 2007 recomenda:

Os pavimentos permeáveis podem ser de três tipos:

- Tipo A: quando toda a água é infiltrada
- Tipo B: quando parte da água é infiltrada
- Tipo C: quando nenhuma água é infiltrada.

Pavimento permeável Tipo A

Conforme Figura (60.8) neste tipo de pavimento toda a água é infiltrada no solo. A água fica armazenada num reservatório de pedras britadas (agregados) de esvazia-se em aproximadamente 24h.

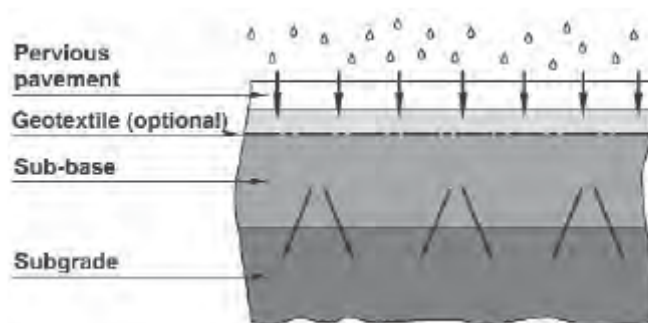


Figura 60.8- Pavimento poroso Tipo A com infiltração total
Fonte: CIRIA, 2007

Exemplo 60.2

Seja um pavimento poroso com 1756m² com 19m x 92m e que recebe água de uma área impermeável com 27m x 92 com 2.461m². No total temos área de 4.271m².

Área impermeável de 58%.

Vamos considerar que o solo tenha condutividade hidráulica mínima de 3,6mm/h.

Vamos considerar a equação conforme CIRIA, 2007:

$$h = (D/n) (R \cdot i - q)$$

Para Tr=5anos e chuva de duração de 1h, isto é, D=60min consultando dados da RMSP temos intensidade de chuva de 52mm/h.

O valor padrão da porosidade usado nos cálculos geralmente n=0,30.

A_D= área drenada (m²)= área impermeável= 2.461m²

Ab=base da área do sistema de infiltração (m²)=área permeável=1756m²

R= razão entre a área drenada com a área de infiltração= R=A_D/Ab=2.461/1756=1,40

Ciria, 2007 e Interpave, 2008 adotam como valor máximo de R=2,0 portanto está OK.

$$h = (D/n) (R \cdot i - q)$$

D= 1h

n=0,30

R=1,40

i= 52mm/h

q= 3,6mm/h=K=0,0036m/h

$$h = (D/n) (R \cdot i - q)$$

$$h = (1,0/0,30) (1,40 \times 52 - 3,6) = 0,23\text{m}$$

Tempo de esvaziamento

$$\text{Tempo de esvaziamento} = n \times h / q = 0,30 \times 0,23 / (3,6/1000) = 19,2\text{h}$$

Na Tabela (60.2) estão as profundidades calculadas para período de retorno de 5anos, 30anos e 100 anos para chuva de duração de 1h. Consideramos a infiltração do solo $q=k=3,6\text{mm/h}=0,0036\text{m/h}$. Foi usado dados de Martinez e Magni, 1999 conforme Tomaz, 2002.

Tabela 60.2- Cálculos da profundidade máxima para períodos de retorno de 5anos, 30anos e 100anos para chuva de duração de 60min para RMSP

Tr (anos)	Duração da chuva		Intensidade I		R=Ad/Ab	Profundidade	
	(min) D	m/h q (K)	(mm/h)	(m/h)		Hmax (m)	Esvaziamento (h)
5	60	0,0036	52	0,052	1,40	0,23	19,2
30	60	0,0036	78	0,078	1,40	0,35	29,4
100	60	0,0036	86	0,086	1,40	0,39	32,5

Observando a Tabela(60.2) temos varias alturas máximas h que são 0,23m; 0,35m e 0,39m com tempos de esvaziamento diferentes. Adotamos $h=0,40\text{m}$ para chuva de período de retorno de 100anos e duração de 1h. O valor mínimo que deve ser adotado é 0,30m.

O tempo de esvaziamento ideal é de 24h, mas muitas vezes fica dispendioso para atingí-lo.

Pavimento permeável Tipo B

No pavimento permeável Tipo B conforme Figura (60.9) somente uma parte da água é infiltrada no solo e o restante sai através de tubos perfurados espaçados que estão instalados dentro da sub-base, isto é, dentro do reservatório de agregados.

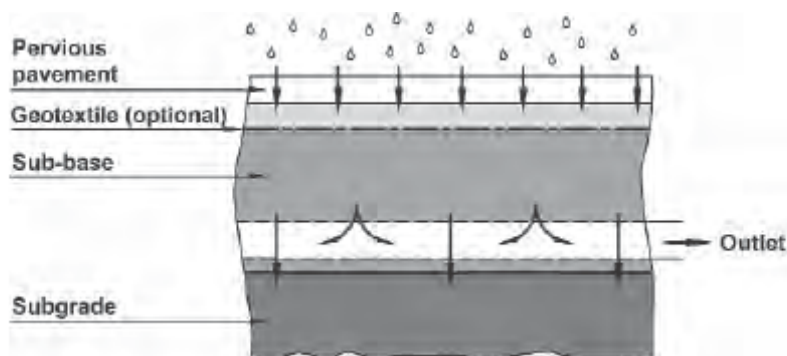


Figura 60.9- Pavimento poroso Tipo B com infiltração parcial e uso de drenos
Fonte: CIRIA, 2007

O Tipo B é extremamente complexo existindo alguns softwares para resolver o problema o que não apresentaremos.

Pavimento permeável Tipo C

No pavimento permeável Tipo C nenhuma água é infiltrada no solo, pois toda ela é escoada através de tubos perfurados espaçados colocados no reservatório de pedras britadas (agregados). Como a água de chuva é filtrada na areia e na pedra britada a mesma pode ser usada para fins não potáveis como na irrigação, descargas em bacias sanitárias, etc.

Quando a infiltração do solo é menor ou igual a 0,36mm/h (10^{-7} m/s) o solo é considerado impermeável conforme Interpave, 2008.

No pavimento poroso a água se infiltra através da superfície onde está grama, areia, pedra britada. A água pode ser infiltrar também através de asfalto poroso ou concreto poroso. O tratamento que se dá inclusive com o uso de geotêxtil são:

- Filtração
- Adsorção
- Biodegradação
- Sedimentação

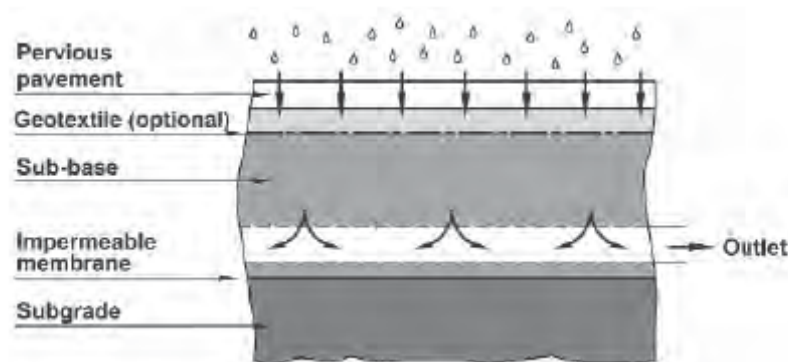


Figura 60.10- Pavimento poroso Tipo C sem nenhuma infiltração e só usando drenos
Fonte: CIRIA, 2007

Bloco de geocélulas: são materiais plásticos que são usados no reservatório ao invés de agregados que possuem vazão maior que 90% e que não são usados no Brasil, mas na Europa e Estados Unidos.

60.6 Equação de Darcy para quando há declividade

$$Q = A \cdot K \cdot i$$

Sendo:

Q= vazão na sub-base (m³/s)

A= área da seção transversal (m²)

K= coeficiente de permeabilidade da sub-base (m/s)

i=gradiente hidráulico. Geralmente é assumido como a declividade da sub-base.

60.7 Vazão de saída da estrutura do pavimento quando não há declividade (plano)

No reservatório de pedras britadas, isto é, na sub-base do pavimento permeável serão instalados tubos perfurados com objetivo de remover parcialmente ou toda a água infiltrada.

A vazão estimada conforme Iterpave, 2008 baseada em Cedergreen, 1974:

$$q = K (h/b)^2$$

Sendo:

q= taxa de runoff no pavimento (m/s)

K= coeficiente de permeabilidade da sub-base (m/s)

h=espessura da sub-base acima da área impermeável (m)

b= metade da distância entre os drenos (m)

Exemplo 15.3

Seja um pavimento permeável com 1756m² com 19m x 92m e que recebe água de uma área impermeável com 27m x 92 com 2.461m². No total temos área de 4.271m².

Vamos considerar que o solo seja **impermeável** e então teremos o Tipo C com os drenos.

Adotamos h=0,40m já calculado no Exemplo (15.1).

Para o cálculo do dreno podemos supor superfície plana.

Superfície plana

Para superfície plana usamos a equação:

$$q = K (h/b)^2$$

Sendo:

q= taxa de runoff no pavimento (m/s)

K= coeficiente de permeabilidade da sub-base (m/s)

h=espessura da sub-base acima da área impermeável (m)

b= metade da distância entre os drenos (m)

Taxa de runoff no pavimento q

Supomos que para período de retorno de 5anos temos a intensidade de chuva de 60min para a RMSP de 52mm/h. Isto significa:

q=52mm/h=0,0001444m/s

K=0,001m/s

h= 0,40m

Queremos o valor de b.

$$b = h / (q/K)^{0,5}$$

Mas como queremos o espaçamento $E = 2xb$

$$E = 2 \times h / (q/K)^{0,5}$$

$$E = 2 \times 0,40 / (0,0000144/0,001)^{0,5} = 6,7\text{m}$$

Portanto, o espaçamento máximo é de 6,7m entre cada tubulação.

Vamos escolher um tubulação de 150mm de PVC com perfuração, declividade de 1% e que pode conduzir a seção plena de 13L/s conforme Tabela (60.3).

Vamos supor que toda a chuva se infiltra no solo.

A vazão total de drenagem será:

$$4.271 \text{ m}^2 \times 0,0000144\text{m/s} = 0,061\text{m}^3/\text{s} = 62 \text{ L/s}$$

Dividimos 62 L/s por 13L/s que é a vazão de cada tubo e teremos:

$$62 / 13 = 4,8 \text{ tubos}$$

Adotamos 5 tubos

Como a distância da base da área permeável é 19m e dividindo por 5 teremos:

$$19/5 = 3,8\text{m}$$

Nos cantos a distância até o término é de $3,8/2 = 1,90\text{m}$.

60.8 Vazões em tubos de concreto

Tabela 60.3- Vazões a seção plena de tubos de concreto de 5cm a 45cm e para declividades de 0,005m/m a 0,05m/m conforme Equação de Manning.

Diâmetro da tubulação		Vazão a seção plena (m ³ /s)									
		m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
cm	m	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
5	0,05	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
10	0,10	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009	0,010	0,010
15	0,15	0,009	0,013	0,016	0,019	0,021	0,023	0,025	0,026	0,028	0,030
20	0,20	0,020	0,028	0,035	0,040	0,045	0,049	0,053	0,057	0,060	0,064
25	0,25	0,036	0,052	0,063	0,073	0,082	0,089	0,097	0,103	0,109	0,115
30	0,30	0,059	0,084	0,103	0,119	0,133	0,145	0,157	0,168	0,178	0,188
35	0,35	0,089	0,127	0,155	0,179	0,200	0,219	0,237	0,253	0,268	0,283
40	0,40	0,128	0,181	0,221	0,256	0,286	0,313	0,338	0,361	0,383	0,404
45	0,45	0,175	0,247	0,303	0,350	0,391	0,428	0,463	0,495	0,525	0,553

60.9 Chuvas intensas da RMSP

Na Tabela (60.4) estão as intensidades das chuvas da RMSP variando de 10min a 24h e com período de retorno de 2anos a 200anos conforme Martinez e Magni, 1999 conforme Tomaz, 2002.

Tabela 60.4 – São Paulo: Previsão de máximas intensidade de chuvas em mm/hora

Duração da chuva	Período de retorno								
	(anos)								
	2	5,00	10	15	20	25	50	100	200
10 min	97,3	126,9	146,4	157,4	165,2	171,1	189,4	207,6	225,8
15 min	84,4	110,2	127,3	136,9	143,7	148,9	164,9	180,8	196,6
20 min	74,6	97,5	112,7	121,3	127,3	131,9	146,2	160,3	174,4
25 min	66,9	87,6	101,3	109,0	114,4	118,6	131,4	144,2	156,9
30 min.	60,7	79,5	92,0	99,1	104,0	107,8	119,5	131,2	142,8
1 h	39,3	51,8	60,1	64,7	68,0	70,5	78,3	86,0	93,6
2 h	23,4	31,1	36,1	39,0	41,0	42,5	47,3	52,0	56,7
6 h	9,3	12,5	14,6	15,8	16,6	17,3	19,2	21,2	23,2
8 h	7,2	9,7	11,4	12,3	13,0	13,5	15,0	16,6	18,1
10 h	5,9	8,0	9,4	10,1	10,7	11,1	12,4	13,7	14,9
12 h	5,0	6,8	8,0	8,6	9,1	9,5	10,6	11,7	12,8
18h	3,5	4,7	5,6	6,0	6,4	6,6	7,4	8,2	8,9
24h	2,7	3,7	4,3	4,7	4,9	5,1	5,7	6,3	6,9

Fonte: aplicação da fórmula de Martinez e Magni de 1999

60.10 Eficiência do pavimento poroso

A eficiência do pavimento poroso está na Tabela (60.5)

Tabela 60.5 - Eficiência do pavimento poroso (remoção)

Estudo	TSS	TP	NO ₃	Metais
MWCOPG, 1983	95%	60%	-	99%

Fonte: FHWA, 2004.

Conforme *Stormwater Management Manual for Westerner Austrália: structural controls* estudos feitos por Brattebo e Booth, 2003 em quatro tipo de pavimentos porosos em estacionamento não acharam óleo, gasolina ou chumbo na água infiltrada no pavimento, embora tais poluentes estivessem presente no runoff de águas pluviais de um asfalto impermeável.

60.11 Critério de seleção

- **Aplicável e econômico em áreas de 0,1ha a 4ha (Austrália, 1998).**
- Aplicável a baixo *runoff* e áreas de estacionamento e *runoff* dos telhados de áreas pavimentadas.
- A declividade do solo deve ser $S \leq 5\%$.
- Preserva as condições do pré-desenvolvimento, reduzindo as vazões à jusante.

60.12 Limitações

- **Não pode ser construído em locais de tráfegos pesados ou em locais que veículos tenham velocidade mais de 50km/h.**
- Os pavimentos permeáveis são viáveis para taxa de infiltração superior a 0,36mm/h conforme CIRIA, 2007.
- Declividades menores que 5%. Quanto mais plano é melhor.
- Um pavimento poroso de concreto assentado em blocos tem taxa de percolação de **4.000mm/h**, mas adota-se somente 10% do valor ou seja 400mm/h conforme CIRIA, 2007.
- Em pavimento poroso com grama a infiltração de quando o pavimento é novo é de **900mm/h** e supõe-se que quando fica velho chegue a 20% do valor, ou seja, 180mm/h conforme Árgüe, 2004.
- Asfalto poroso tem valores de condutividade hidráulica **K= 5.760mm/h; K=13.680mm/h.**
- A porosidade efetiva dos agregados normalmente adotada é $n=0,30$ conforme CIRIA, 2007.
- O dimensionamento padrão tem altura de 360mm para os agregados onde a água será armazenada conforme CIRIA, 2007.
- *Capacidade de troca catiônica do solo* maior que 5 miliequivalente CEC/ 100 gramas de solo seco.
- Distância mínima de 1,20m da rocha ou do lençol freático.
- Não pode ser construído em locais onde há erosão e se espera grande quantidade de sedimentos.
- Pode causar a *contaminação da água subterrânea*, principalmente em posto de gasolina, oficinas mecânicas etc,.
- É necessário *operário especializado* para a sua construção e manutenção.
- Segundo *Schueler, 1992 in FHWA, 2000* o pavimento poroso tem aplicação limitada devido aos problemas de redução da capacidade de infiltração dos solos.
- **Tendência a entupir em 1 ano a 3 anos, segundo Urbonas, 1993.**
- Algumas cidades e estados nos Estados Unidos, não aceitam o pavimento poroso e nem o modular como solução para melhorar o BMPs.
- O tempo para esvaziamento do reservatório de pedras num pavimento poroso deve ser de 24h a 72h.
- Urbonas, 1993 cita que o esvaziamento pode estar entre 6h a 12h.
- Para não haver escoamento no reservatório de pedras quando há declividade, Urbonas, 1993 recomenda que sejam feitas células.

60.13 Custos e manutenção

- Custo de construção moderado.
- *Manutenção alta.*
- O asfalto poroso custa de 10% a 15% a mais do que o asfalto tradicional.
- O tubo perfurado de drenagem sempre deve ser computado nos custos.
- O custo de contingência deve ser aproximadamente 10% maior que os custos de contingências normalmente adotados nos projetos.
- A duração de um pavimento poroso é de 5 anos a 10 anos.
- Deve ser inspecionado a cada 6 meses.

- Os danos devem ser reparados imediatamente.
- Inspeções devem ser feitas mensais nos primeiros meses após construção e depois, de seis em seis meses.
- Deverá ser monitorado para ver se não está havendo entupimento e quebra do pavimento poroso.
- As áreas que estiverem entupidas deverão ser refeitas imediatamente.
- Existem **equipamentos de sucção a vácuo e jatos de alta pressão para manter a porosidade do pavimento poroso e deve ser feita no mínimo duas vezes por ano.**
- Os custos do pavimento poroso são de 10% a 15% maiores do que uma pavimentação de asfalto normal. Para concreto armado o custo sobe em mais de 25% (FHWA, 2000).
- O custo de construção de pavimento poroso com asfalto é de US\$ 67,00/m² e para pavimento poroso de concreto US\$ 90,00/m².
- O custo anual de manutenção conforme dados da Califórnia é de US\$ 9.700,00/ha.
- Conforme Daywater, 2003 o custo do pavimento poroso varia de US\$ 213/ a US\$ 319/m² e o custo de manutenção (limpeza) anual varia de US\$ 0,42 a US\$ 2,1/ m³ x ano.

60.14 Pré-tratamento

- Quando há escoamento sobre o pavimento poroso deve ser feito um pré-tratamento usando, por exemplo, o *filter strip*, ou seja a faixa de filtro gramada com largura mínima de 6,00m.
A Figura (60.11) mostra os tubos de drenagem em asfalto poroso.



Figura 60.11 - Esquema de um asfalto poroso, mostrando os tubos de drenagem.

Fonte: Stormwater Features- internet <http://www.forester.net>

A Figura (60.12) mostra um asfalto poroso em construção.



Figura 60.12 - Esquema de um asfalto poroso, notando-se a sub-base que ainda não foi pavimentada.

Fonte: Stormwater Features- internet <http://www.forester.net>

60.15 Construção

- Para evitar entupimento dos poros, só deve ser feito o pavimento poroso quando o solo da vizinhança for estabilizado.
- Deve-se ter cuidado com equipamentos pesados para não afetar a permeabilidade do solo.
- As pedras usadas devem ser limpas.

60.16 Dados para projetos

- O solo deve ter permeabilidade **maior ou igual a 7mm/h**, conforme FHWA, 2004 ou 0,36mm/h conforme CIRIA, 2007.
- O lençol freático tem que estar, no mínimo, 1,20m distante do fundo do pavimento poroso ou 1,00m conforme CIRIA, 2007.

- O solo deve suportar as cargas nas condições saturadas.
- Evite que os tubos de drenos percorram longas distâncias.
- Não fazer a infiltração em área aterrada e compactada.
- A superfície do pavimento poroso não pode ter declividade maior que 5%. Em áreas de grandes declividades usar pavimento asfáltico convencional.
- Como regra prática, adota-se usualmente 5:1 como a relação ótima entre a área impermeável e a área de infiltração. Assim, uma área impermeável com 2ha tem área com 0,4 ha para infiltração.
- A camada de pedra funciona como um reservatório.
- Não é permitido *runoff* sobre o pavimento modular.
- Deve ser testado para a porosidade, permeabilidade e capacidade de troca catiônica.
- **O espaço do concreto poroso varia de 15% a 22% com média de 18%.**
- As áreas de estacionamento para cargas pesadas são admitidas.
- Depende de dois fatores básicos: permeabilidade do solo e da capacidade de carga do solo.
- O pavimento será projetado para drenar a água em 24h a 72h.
- Se a taxa de permeabilidade do solo é muito baixa, a água drenada pode ser encaminhada para uma trincheira de infiltração.
- Deverá haver um geotêxtil (bidim) adequado para evitar o entupimento.
- A infiltração da água no solo poderá ser total ou parcial.
- Solos com infiltração menor que 0,36mm/h não pode haver infiltração.

A Tabela (60.3) mostra os valores típicos da condutividade hidráulica K.

Tabela 60.3 - Condutividade hidráulica K em função do tipo de solo

Tipo de solo	K mm/h	K m/dia
Areia	210,06	4,96
Areia franca	61,21	1,45
Franco arenoso	25,91	0,61
Franco	13,21	0,31
Franco siltoso	6,86	0,16
Franco argilo arenoso	4,32	0,10
Franco argiloso	2,29	0,05
Franco argilo siltoso	1,52	0,04
Argila arenosa	1,27	0,03
Argila siltosa	1,02	0,02
Argila	0,51	0,01

Fonte: Febusson e Debo, 1990 in *Georgia Stormwater Manual*,

Goransson e Jonsson, 1990 in Daywater, 2003 mostraram que a condutividade hidráulica do pavimento poroso em asfalto está entre 3.000mm/h a 4.200mm/h.

Existe pesquisas de pavimento poroso em asfalto com 30 anos de duração e condutividade hidráulica de 24.000mm/h. Logicamente todos estes valores ultrapassam a intensidade da chuva de 60mm/h que pode ser considerada numa precipitação intensa. Ainda segundo Daywater, 2003 a porosidade do pavimento poroso em concreto e asfalto varia entre 10% a 20%.

60.17 Pavimento poroso de concreto

O concreto poroso tem porosidade efetiva que varia de 15% a 22%, sendo adotado, na prática, o valor médio $n = 0,18$, correspondente a 18%.

A condutividade mínima no solo que se admite é $K = 0,36\text{mm/h}$.

O concreto poroso deve ter declividade menor ou igual a 2% e, no caso de as declividades serem maiores que 2%, devemos barrar perpendicularmente ao escoamento de maneira a não dar continuidade ao escoamento.

Deve estar distante no mínimo a 30m de um poço raso e 3m de uma construção.

Não deve ser construído pavimento poroso de concreto em locais de grande potencial de contaminação, como um posto de gasolina e outros, pois poderá contaminar o lençol freático subterrâneo.

A espessura do concreto poroso varia de 0,05m a 0,10m e como a porosidade efetiva é $n = 0,18$ para espessura de 0,10m..

O diâmetro do agregado máximo deverá ser maior que 9,5mm.

O reservatório de pedra britada corresponde a diâmetros de brita de 38mm a 6,35mm para que o vazio seja de 40%. A espessura do reservatório de pedra britada depende do tipo de solo, mas na prática varia de 0,25m a 1,2m, sendo a espessura mínima de 0,25m.

O concreto poroso deverá ser assentado em área totalmente plana sobre camada de 0,05m a 0,15m de areia ou pedra britada. Uma outra camada de 0,15m, que ficará assente sobre o geotêxtil. Portanto, a camada de pedras britadas está entre duas camadas de areia, uma superior e outra inferior.



Figura 60.13 - Pavimento permeável de concreto

60.18 Critério usando determinado período de retorno e chuva de uma certa duração.

Existe uma outra maneira de se calcular e para isto adota-se um determinado período de retorno e uma determinada duração de chuva. Para aplicação deste critério tem sido adotado o seguinte:

- Período de retorno de 2 anos e chuva de duração de 1h.
- Período de retorno de 10 anos e chuva de duração de 2h.

$$d = (K \times T) / (1000 \times n)$$

Sendo:

d= altura da camada de pedra (m)

K= condutividade hidráulica (mm/h)

T= tempo de detenção do escoamento, variando entre 24h a 72h.

n= porosidade efetiva da pedra.

Ou apresentar se forma:

$$T = (d \times 1000 \times n) / K$$

$$d = (K \cdot T) / (1000 \cdot n)$$

A área da superfície do pavimento poroso "A" é fornecida pela Equação:

$$A = V / (n \times d)$$

Tirando-se o valor de d temos:

$$d = V / (A \times n)$$

Sendo:

A= área da superfície do pavimento poroso (m²).

V= volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m³).

O volume para melhoria da qualidade das águas pluviais é calculado por:

$$V = Ad \times I \times D \times 10$$

Sendo:

Ad= área total de drenagem (ha)

D= duração da chuva (h)

I= intensidade da chuva (mm/h)

Exemplo 60.2

Calcular o pavimento poroso para uma área total de drenagem Ad= 2ha e área de pavimento poroso A=5000m². Considerar a intensidade da chuva I= 39,3mm/h para período de retorno de Tr= 2anos com duração de D= 1h. O índice de vazio adotado das pedras britadas é de n=0,30. Considerar que o lençol freático está a 2,5m de profundidade e que a infiltração no solo seja de 7,6mm/h.

O volume V será:

$$V = Ad \times I \times D \times 10$$

$$V = 2ha \times 39,3mm/h \times 1h \times 10 = 786m^3$$

A **espessura d** do reservatório de pedras será:

$$d = (K \cdot T) / (1000 \cdot n)$$

$$d = (7,6 \times 24h) / (1000 \times 0,30) = 0,61m$$

Verificação do lençol freático

A altura total será: $0,61m + 0,10m = 0,73m$

Como o lençol está a 2,5m abaixo, o fundo ficará $2,5 - 0,73m = 1,77m > 1,20m$ OK.

60.19 Evaporação

As pesquisas que foram feitas sobre evaporação mostraram que a evaporação varia de 0,28mm/dia a 0,36mm/dia, podendo atingir até 0,96mm/dia, o que é insignificante para os cálculos.

Normalmente a evaporação é desprezada nos cálculos.

60.20 Bibliografia e livros consultados

- CIRIA. *The SUDS manual*. London, 2007, CIRIA C697, ISBN 978-0-86017-697-8, 606páginas. **CIRIA= Construction Industry Research and Information Association**
- DAYWATER. *Report 5.1. Review of the use of stormwater BMPs in Europe*. 18 de agosto de 2003. Preparado pela Middlesex University.
- INTERPAVE. *Permeable pavements*. WWW.paving.org.uk, dezembro de 2008 Edição 5, 80 páginas.
- TOMAZ, PLINIO. *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*. Navegar, São Paulo, 2002.
- URBONAS, BEN e STAHR, PETER. *Best Management Practices and detention for water quality drainage and CSO management*. Prentice-Hall, 1993, 449 páginas, ISB 0-13-847492-3,