

Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do escoamento Superficial

Andréa Souza Castro¹, Joel Avruch Goldenfum², André Lopes da Silveira², David da Motta Marques²
andreascastro@gmail.com, j.goldenfum@gmail.com, andre@iph.ufrgs.br, dmm@iph.ufrgs.br

Recebido: 08/07/12 – revisado: 17/09/12 – aceito: 07/11/12

RESUMO

Os pavimentos permeáveis com uma estrutura de camada reservatório são dispositivos de controle na fonte que atuam no controle da produção do escoamento superficial, permitindo que a água proveniente da chuva passe através deles, reduzindo desse modo o escoamento superficial. Estas estruturas são utilizadas para infiltração de água no solo e podem oferecer uma alternativa para disposição da água do escoamento superficial urbano sem ocupar áreas adicionais. O presente estudo avalia a evolução de comportamento no controle do escoamento superficial de uma instalação experimental composta de um estacionamento com pavimentos permeáveis construído no ano de 2003, com aproximadamente 264m² de área, dividido em dois tipos de revestimento: asfalto poroso e blocos vazados com gramíneas. Nos anos de 2003 e 2004 foram realizados o dimensionamento da estrutura, o detalhamento dos dispositivos de monitoramento e um ano de monitoramento quantitativo dessa estrutura (primeira etapa de monitoramento). Uma segunda etapa de monitoramento foi efetuada em 2007, 2008 e 2009. Nunca foi realizado nenhum tipo de manutenção ou limpeza do revestimento superficial em nenhum dos tipos de revestimento, buscando caracterizar uma condição na realidade brasileira. Os resultados da comparação do comportamento deste dispositivo durante as duas etapas de monitoramento mostram evolução distinta dos aspectos quantitativos para os dois tipos de revestimento. Para os dezesseis eventos estudados no segundo estágio do monitoramento, os resultados da análise quantitativa mostram que, somente o pavimento com revestimento de blocos vazados continua fazendo o controle adequado do volume de escoamento superficial, embora com valores de escoamento um pouco superiores aos encontrados no passado, no mesmo dispositivo experimental. Os valores de coeficiente de escoamento superficial encontrados nesta segunda etapa do monitoramento demonstram serem maiores que na primeira etapa, principalmente no revestimento de asfalto poroso.

Palavras-chave: Escoamento superficial. Pavimentos permeáveis. Análise quantitativa.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano implicou na impermeabilização de grandes áreas, modificando o ciclo hidrológico natural. A parcela da água que infiltrava no solo passou a incorporar o escoamento superficial, dada a redução da interceptação vegetal, infiltração e evapotranspiração pela retirada da sua proteção natural. A consequência deste processo é um aumento nos volumes escoados, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, provocando assim hidrogramas de cheias cada vez mais críticos.

As alternativas de infiltração são técnicas que compõem um conjunto de estruturas e dispositivos que procuram favorecer a infiltração da água no solo e assim recuperar processos hidrológicos alterados durante a urbanização, objetivando a reconstituição das condições de pré-ocupação.

Essas estruturas buscam compensar os efeitos da urbanização na fonte, ou seja, antes que a água atinja a rede de drenagem. Além de atuarem na diminuição das vazões máximas, as estruturas de infiltração podem agir na recarga das águas subterrâneas.

Os pavimentos permeáveis são dispositivos de controle na fonte, que atuam no controle da produção do escoamento superficial, permitindo que a água proveniente da chuva passe através deles, reduzindo desse modo o escoamento superficial e possibilitando a filtração de alguns poluentes, os quais são lavados durante um evento chuvoso (ANDRADE FILHO; SZÉLIGA; SZESZ, 2000; ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999).

¹ Engenharia Ambiental e Sanitária - Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

O termo pavimento permeável se refere basicamente a três tipos de pavimentos: asfalto poroso, concreto poroso e blocos de concretos, com a superfície projetada para minimizar o escoamento superficial (URBONAS; STAHRÉ, 1993).

Pavimentos de asfalto poroso e concreto poroso são fabricados de forma similar aos pavimentos convencionais, a diferença básica é que os finos são retirados da mistura. O outro tipo de pavimento permeável, ou seja, blocos vazados intertravados são dispostos sob uma camada de areia. Um geotêxtil é colocado ao redor da camada de brita para impedir a migração de material particulado para o reservatório de brita.

Em áreas de alta densidade de ocupação, o sistema viário e estacionamentos podem representar uma considerável superfície em uma bacia, chegando aproximadamente a 30% da área de drenagem (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). No Brasil é altamente utilizada a implantação de vias utilizando pavimentos impermeáveis, contribuindo assim para o aumento do escoamento superficial e conseqüentemente com uma maior frequência e intensidade das inundações.

Na literatura internacional, alguns autores, tais como Brattebo e Booth (2003), Collins (2007) e Pagotto, Legret e Le Cloirec (2000), têm encontrado resultados positivos para utilização de pavimentos permeáveis no que diz respeito ao controle do escoamento superficial.

Já no Brasil existem poucos estudos experimentais que avaliam o comportamento de pavimentos permeáveis no que diz respeito ao aspecto quantitativo do escoamento superficial, destacando-se Acioli (2005), Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), Pinto (2011) e Silva (2006).

Porém, pouco se conhece sobre a evolução do comportamento deste tipo de estrutura no controle escoamento pluvial no Brasil após vários anos de uso, sem realização de manutenção. Sendo assim, é de extrema importância o estudo para verificar a aplicabilidade e os efeitos dessas estruturas no escoamento superficial urbano.

MATERIAIS E MÉTODOS

O pavimento permeável consiste em um módulo experimental composto de um estacionamento com pavimento permeável de reservatório de brita, que foi monitorado para avaliação desse dispositivo no controle dos excessos pluviais.

O dimensionamento da estrutura e os resultados de um ano de monitoramento quantitativo dessa estrutura é descrito por Acioli (2005).

A instalação experimental consta de um lote de estacionamento localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) com uma área de 264m² e capacidade para 16 automóveis de passeio. A construção da estrutura foi iniciada em 2003, sendo finalizada em fevereiro de 2004.

O pavimento foi dividido em duas partes iguais. Uma metade do estacionamento é revestida de asfalto poroso e a outra metade com o revestimento de blocos vazados.

Neste experimento há diversos dispositivos de monitoramento, de modo a possibilitar o cálculo do balanço hídrico do sistema e avaliar seu comportamento quantitativo.

Para o monitoramento do nível de água no reservatório de brita, foram instalados em cada módulo do pavimento três poços de observação, com sensores de nível. Não houve condições de avaliar a umidade do solo subjacente aos pavimentos permeáveis.

Para a coleta e medição do escoamento superficial foram instaladas em cada lado do pavimento calhas que conduzem a água do escoamento superficial para reservatórios coletores, onde a vazão de saída é vertida para um reservatório em acrílico equipado com vertedor triangular.

O pavimento foi construído junto ao bloco de ensino do IPH, onde estão situadas as salas de aula e a biblioteca. Esta área se caracteriza por ter tráfego de veículos leves e esporadicamente ter acesso de veículos pesados, servindo basicamente como estacionamento.

O pavimento construído pode ser observado nas figuras 1 e 2.

Acioli (2005) apresentou o dimensionamento da estrutura, o detalhamento dos dispositivos de monitoramento e os resultados de um ano de monitoramento quantitativo dessa estrutura (primeira etapa de monitoramento).

Os resultados deste trabalho anterior indicam que o pavimento permeável analisado apresentou ótimo comportamento no controle da geração de escoamento superficial.

Uma segunda etapa de monitoramento foi efetuada no período de dezembro 2007 a outubro de 2009. Nunca foi realizada nenhum tipo de manutenção ou limpeza do revestimento superficial em nenhum dos tipos de revestimento, buscando caracterizar uma condição compatível com a realidade brasileira.



Figura 1 - Pavimento permeável instalado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS

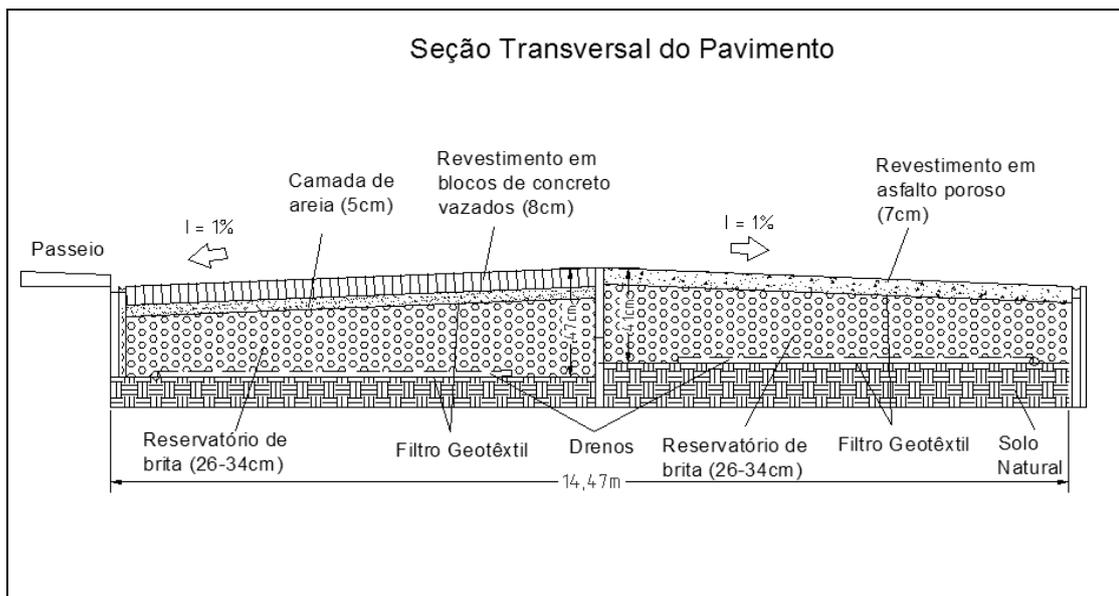


Figura 2 - Seção transversal do pavimento permeável

O presente estudo apresenta uma comparação da evolução de comportamento deste pavimento, em termos quantitativos, após 3 anos da primeira etapa de monitoramento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo hidráulico-hidrológico realizado no pavimento por Acioli (2005), a autora avaliou:

- as precipitações, com análise dos eventos e cálculo dos tempo de retorno (TR),
- coeficiente de escoamento superficial para cada revestimento;
- armazenamento no reservatório de brita para estimativas das taxas de infiltração.

Para possibilitar a comparação dos resultados obtidos nesta pesquisa com os encontrados por

Acioli (2005), foi utilizado o mesmo critério para separação dos eventos bem como a mesma metodologia de cálculo.

Tabela 1 - Coeficientes de escoamento superficial dos Pavimentos Permeáveis – Primeira etapa de monitoramento

Evento	Precipitação (mm)	Duração Chuva (h:min)	Coef. De Escoamento (%)	
			Asfalto Poroso	Blocos Vazados
04/05/2004	62,5	22:03	SD	0,0
07/05/2004	32,2	42:02	SD	1,4
14/05/2004	22,6	28:26	0,8	0,0
23/05/2004	9,1	4:52	SD	0,0
25/05/2004	23,4	5:52	SD	0,0
10/06/2004	83,1	13:55	5,0	1,0
24/06/2004	20,1	11:34	0,7	0,0
01/07/2004	30,7	6:40	SD	0,0
03/07/2004	24,4	6:39	1,8	1,8
07/07/2004	9,7	3:38	0,0	0,0
14/07/2004	35,6	26:07	7,3	0,0
30/07/2004	55,1	39:33	9,5	0,0
06/08/2004	20,8	5:22	3,6	5,4
17/08/2004	32,5	42:43	6,1	3,8
10/09/2004	46,2	27:11	8,2	1,1
20/09/2004	115,8	59:19	7,7	9,8
28/09/2004	20,8	5:22	3,6	5,4
16/10/2004	37,1	12:00	6,2	4,5
18/10/2004	15,2	0:57	7,2	3,0
03/11/2004	18,5	3:50	2,2	0,0
05/11/2004	17,0	10:35	3,0	0,0
10/11/2004	90,4	48:28	13,5	12,8
		Média	5,08	2,27
		Desvio Padrão	3,62	3,49

SD – Sem dados.

Fonte: Adaptado de Acioli, 2005.

Segundo Bertrand-Krajewski et al. (2000) apud Acioli (2005), dois eventos chuvosos são independentes quando os efeitos ocasionados pelo primeiro cessaram antes do início do segundo evento.

Logo para este estudo, foram considerados eventos independentes quando o reservatório de brita do pavimento permaneceu sem água por um período igual ou superior a 12 horas.

Um resumo dos resultados obtidos na primeira etapa (maio a novembro de 2004) do monito-

ramento do pavimento permeável (ACIOLI, 2005) é mostrado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 2 - Volumes armazenados no reservatório de brita – Primeira etapa de monitoramento

Evento	Volume Máx. Armazenado (m³)		Tempo de armazenamento (h:min)	
	Asfalto Poroso	Blocos Vazados	Asfalto Poroso	Blocos Vazados
04/05/2004	SD	0,93	SD	34:26
07/05/2004	SD	0,55	SD	35:26
14/05/2004	0,20	1,15	9:56	9:56
23/05/2004	SD	1,26	SD	8:25
25/05/2004	SD	1,16	SD	17:31
10/06/2004	1,52	1,47	13:08	27:58
24/06/2004	0,07	0,88	3:32	18:21
01/07/2004	SD	1,71	SD	19:54
03/07/2004	0,20	1,06	4:51	15:27
07/07/2004	-	0,72	-	6:03
14/07/2004	0,23	0,88	27:58	40:29
30/07/2004	0,18	0,73	30:14	45:31
06/08/2004	0,28	0,28	5:56	18:09
17/08/2004	0,17	1,82	13:03	40:49
10/09/2004	0,30	0,67	21:46	38:13
20/09/2004	0,97	0,80	60:35	72:28
28/09/2004	0,28	0,28	5:56	18:09
16/10/2004	0,53	0,41	10:12	18:08
18/10/2004	0,47	0,25	5:02	10:10
03/11/2004	0,46	0,27	3:58	3:20
05/11/2004	0,29	0,36	5:35	11:16
10/11/2004	1,93	0,41	25:35	60:26

SD – Sem dados.

Fonte: Adaptado de Acioli, 2005.

Os resultados apresentados na tabela 3 mostram que, para os 17 eventos estudados nesta segunda etapa de monitoramento, o asfalto poroso apresentou um escoamento superficial bem maior que o revestimento de blocos vazados.

Para os eventos de dezembro de 2007 a outubro de 2009 considerando o revestimento de asfalto poroso, o escoamento superficial máximo foi de 61,4%. Esse valor supera em 455% o maior escoamento superficial na 1ª etapa de monitoramento. Em relação a média de escoamento superficial dos 17 eventos analisados, o revestimento asfalto poroso apresentou aproximadamente 30%.

Para o revestimento com blocos vazados, o coeficiente de escoamento superficial máximo foi de 15%. Isso representou um aumento no escoamento

máximo de 17,2%, quando comparado com os resultados da primeira etapa de monitoramento.

Estes resultados são superiores aos resultados obtidos anteriormente por Acioli (2005), principalmente para o revestimento de asfalto poroso, quando o máximo escoamento observado ficou próximo de 10%, para os 2 tipos de revestimentos.

Os maiores escoamentos superficiais para os dois revestimentos foram alcançados em eventos distintos. O maior escoamento do asfalto poroso se deu no dia 16 de agosto de 2008. Já para os blocos vazados o maior escoamento ocorreu no dia no evento do dia 24 de outubro de 2009. Em ambos os revestimentos, os maiores coeficientes de escoamento não coincidiram com os maiores volumes precipitados.

Tabela 3 - Volumes armazenados no reservatório de brita – Segunda etapa de monitoramento

Evento	Precipitação (mm)	Duração Chuva (h:min)	Coef. De Escoamento (%)	
			Asfalto Poroso	Blocos Vazados
24/12/2007	25,1	04:30	3,7	5,8
28/12/2007	26,9	21:15	20,2	11,2
30/01/2008	29,6	93:45	0,0	0,0
09/02/2008	71,0	81:45	1,4	s.d.
28/05/2008	66,3	34:55	18,5	1,0
07/06/2008	71,6	55:00	SD	7,5
27/07/2008	139,5	71:50	48,5	5,1
16/08/2008	84,8	117:55	61,4	1,0
05/09/2008	100,4	51:30	10,7	0,0
04/10/2008	28,1	12:15	34,0	9,0
25/10/2008	64,8	41:55	58,0	14,0
08/01/2009	23,5	14:05	22,0	0,0
07/07/2009	39,4	54:35	41,0	6,0
01/08/2009	22,7	06:35	22,0	11,0
06/08/2009	193,3	102:00	51,0	s.d.
17/08/2009	62,1	94:35	44,0	11,0
24/10/2009	33,9	15:45	SD	15,0
		Média	29,1	6,5
		Desvio Padrão	20,7	5,3

SD – Sem dados.

As diferenças de comportamento no controle de escoamento superficial para os revestimentos eram esperadas. O revestimento de blocos vazados, por ter aberturas maiores que as do asfalto poroso, é mais eficiente na retenção da água. As partes vazadas dos blocos funcionam como reservatório, onde

mesmo que a chuva exceda a capacidade de infiltração do pavimento, existe um armazenamento da chuva excedente (ACIOLI, 2005).

Os resultados encontrados são convergentes com os estudos realizados por Collins et al. (2008), no que se refere aos baixos índices de escoamento superficial para pavimentos permeáveis que também foram encontrados neste pavimento permeável, tanto na primeira etapa de monitoramento (ACIOLI, 2005) quanto na segunda etapa que foi realizada pelo presente estudo.

Para o revestido de asfalto poroso, os dados indicam que a capacidade de escoamento foi aumentada a partir do segundo semestre de 2008, coincidindo com a falta de armazenamento no reservatório de brita. Isso demonstra que este revestimento teve seu funcionamento muito comprometido se comparado com os blocos vazados. Na figura 3 pode-se observar a comparação entre os dois revestimentos, ou seja, asfalto poroso e blocos vazados no que diz respeito ao escoamento superficial.

Comparando o maior evento encontrado por Step (2008) com o valor similar de intensidade média da chuva encontrada por Acioli (2005) na fase inicial do monitoramento deste pavimento, foi verificado que para eventos com intensidade de chuva similares, ou seja, 16mm/h no estudo brasileiro e aproximadamente 13mm/h no estudo francês, os escoamentos superficiais foram inferiores a 10%.

Outro fator importante que diz respeito ao comportamento hidrológico do pavimento é o armazenamento de água no reservatório. Esse fator é de fundamental importância, pois mostra também como está a capacidade de infiltração da água para o subsolo. Para todos os eventos analisados foi observada uma defasagem entre o início da precipitação e o início da do armazenamento no reservatório para os dois revestimentos.

Essa diferença entre o início da chuva e a resposta no reservatório de brita parece depender da intensidade da precipitação, das condições antecedentes de umidade do pavimento e também do tempo que a água leva para se distribuir nos poços de sensores de nível presentes dentro do pavimento. A tabela 4 mostra os valores da defasagem para ambos os revestimentos.

Os valores das defasagens para o revestimento de blocos vazados variaram de 27h45min, para a máximo e de 1h25min para o mínimo. Esta análise para o asfalto poroso não pode ser feita de uma maneira adequada, pois a partir do segundo semestre de 2008 não foi mais detectado armazenamento neste revestimento. A defasagem para o asfalto poroso em 5 eventos (Dezembro de 2007 a Maio 2008)

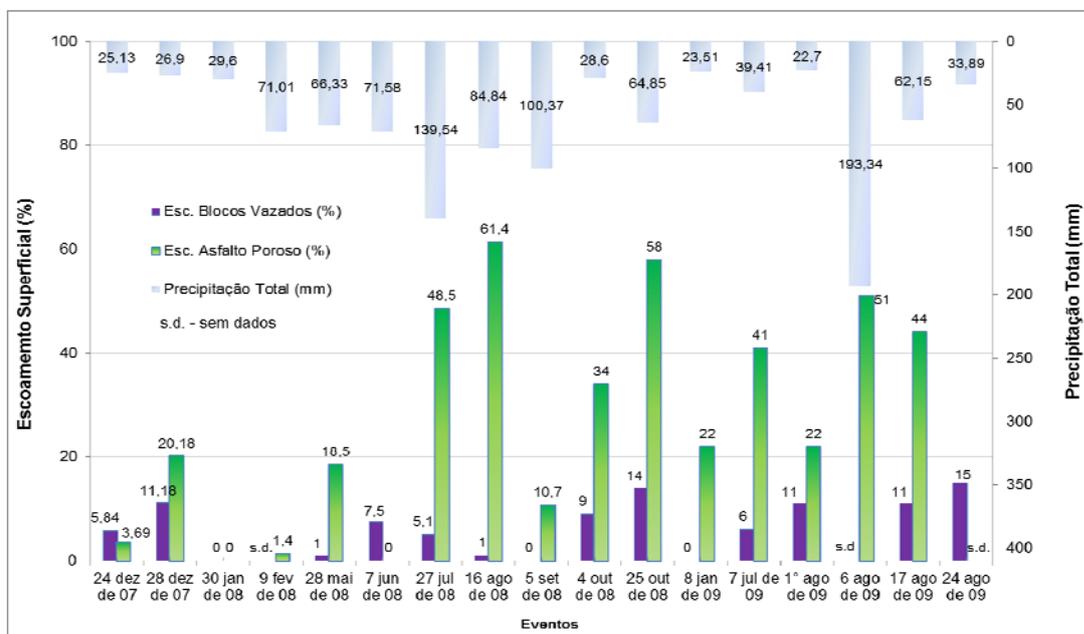


Figura 3 - Comparação dos valores de escoamento superficial para os revestimentos de asfalto poroso e blocos vazados durante o período de estudo (segunda etapa de monitoramento do dispositivo)

foi de 28h15min para o máximo e de 3h para mínima defasagem.

Tabela 4 - Defasagem entre o início do armazenamento e o início precipitação – Segunda etapa de monitoramento

Evento	Tempo de defasagem após início da precipitação (hora:minuto)	
	Asfalto Poroso	Blocos Vazados
24/12/07	3h	3h15min
28/12/07	21h15min	18h30min
30/01/08	9h	2h45min
09/02/08	28h15min	27h45min
28/05/08	3h40min	3h15min
07/06/08	SD	1h25min
27/07/08	SA	8h55min
16/08/08	SA	2h55min
05/09/08	SA	8h30min
04/10/08	SA	4h20min
25/10/08	SA	2h:15min
08/01/09	SA	1h45min
07/07/09	SA	2h25min
01/08/09	SA	5h35min
06/08/09	SA	2h25min
17/08/09	SA	5h30min
24/10/09	SA	2h35min

SD – sem dados

SA – sem armazenamento no reservatório

Acredita-se que os valores de defasagem dependam de diversos fatores tais como: características da chuva (intensidade e duração), condições de umidade inicial do pavimento, frequência da precipitação e colmatação do revestimento. É importante ressaltar que não foi possível a medida da variável umidade no solo subjacente aos pavimentos permeáveis.

Para os cinco eventos onde foi possível fazer a comparação da defasagem entre os revestimentos, observou-se que o revestimento de blocos vazados apresentou na grande maioria das vezes os menores valores.

Foi verificada a ausência de armazenamento de água no reservatório de brita para o revestimento de asfalto poroso a partir do evento do dia 27/07/2008. Estes resultados podem ser visualizados na figura 4 e na tabela 5.

A falta de armazenamento de água no reservatório de brita detectada pelos sensores pode estar relacionada com a perda de capacidade de infiltração no revestimento de asfalto poroso. Este revestimento apresenta sinais de forte colmatação superficial.

Existe a necessidade de realização da limpeza da área superficial para verificação da possível comprometimento definitivo da capacidade de infiltração. Após a limpeza é necessário observar como o pavimento responderá durante os eventos de chuva

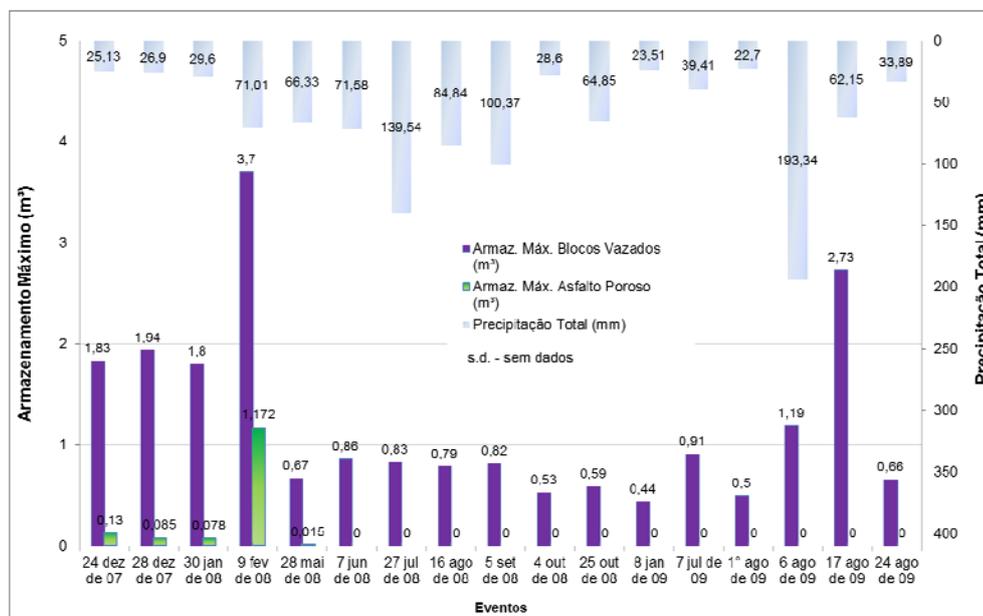


Figura 4 - Comparação dos valores de armazenamento máximo no reservatório para os revestimentos de asfalto poroso e blocos vazados durante o período de estudo (segunda etapa de monitoramento do dispositivo)

no que diz respeito aos índices de escoamento superficial.

Testes destrutivos seriam necessários para verificação da possibilidade de colmatagem nas camadas inferiores do pavimento.

Como consequência da falta de armazenamento no lado com asfalto poroso, observa-se que os valores de armazenamento máximo são bem maiores no revestimento de blocos vazados. Nos primeiros cinco eventos, quando ainda existia armazenamento no revestimento de asfalto poroso, os valores de armazenamento neste revestimento são menores do que no revestimento de blocos vazados. Os resultados encontrados vão ao encontro dos observados por Acioli (2005), onde a autora também encontrou maiores volumes armazenados no revestimento com blocos vazados.

Na segunda etapa de monitoramento, o armazenamento máximo foi de 2,73m³ para o revestimento de blocos vazados. Este valor representa aproximadamente 33% da capacidade total de armazenamento do pavimento, que é de 8,25m³.

Para o evento de chuva de maior magnitude - quando a precipitação sobre o pavimento foi de 25,5mm durante em 102 horas - o armazenamento máximo - alcançou somente 0,5m³ no lado de blocos vazados. Para o lado do asfalto poroso não houve armazenamento no reservatório para este evento.

Tabela 5 - Resumo dos dados de armazenamento para os eventos analisados

Evento	Volume Máx. Armazenado (m³)		Tempo de armazenamento (h:min)	
	Asfalto Poroso	Blocos Vazados	Asfalto Poroso	Blocos Vazados
24/12/07	0,13	1,83	02:00	36:30
28/12/07	0,085	1,94	03:30	46:45
30/01/08	0,078	1,8	04:30	23:15
09/02/08	1,172	3,7	09:00	58:15
28/05/08	0,015	0,67	01:35	51:35
07/06/08	SD	0,86	SD	77:35
27/07/08	SA	0,83	SA	101:15
16/08/08	SA	0,79	SA	122:30
05/09/08	SA	0,82	SA	45:40
04/10/08	SA	0,53	SA	29:50
25/10/08	SA	0,59	SA	51:45
08/01/09	SA	0,44	SA	24:10
07/07/09	SA	0,91	SA	91:15
01/08/09	SA	0,5	SA	47:45
06/08/09	SA	1,19	SA	115:50
17/08/09	SA	2,73	SA	101:20
24/10/09	SD	0,66	SD	87:40

SD – sem dados

SA – sem armazenamento no reservatório

Para o evento de chuva de maior magnitude quando a precipitação sobre o pavimento foi de $25,5\text{m}^3$ durante 102 horas, o armazenamento máximo alcançou somente $0,5\text{m}^3$ no lado de blocos vazados. Para o lado do asfalto poroso não houve armazenamento no reservatório para este evento.

Os pontos de acúmulo de água são observados no revestimento de asfalto e podem ser visualizados na figura 5. Esse acúmulo de água provavelmente é causado pela colmatação superficial. Já o revestimento blocos vazados não apresenta acúmulo de água na sua superfície.

Embora o revestimento de blocos vazados apresente maiores valores de escoamento superficial do que os encontrados no passado, este não apresenta sinais visíveis de deformação ou colmatação superficial.

Na figura 5 pode-se visualizar acúmulo de água e colmatação visível somente no revestimento de asfalto poroso.



Figura 5 - Acúmulo de água Pavimento permeável após evento de chuva - Agosto de 2010

A mudança de comportamento hidrológico dos pavimentos permeáveis parece evidente quando comparamos as duas etapas de monitoramento.

O tempo de duração da chuva (devido a mudança no cálculo para separação dos eventos), coeficiente de escoamento superficial, tempo de defasagem após início da precipitação e o tempo que a água permanece no reservatório de brita têm seus valores aumentados na segunda etapa.

Na primeira etapa de monitoramento o maior tempo de armazenamento foi de 72 horas e 28 minutos (revestimento blocos vazados) para uma chuva de 115mm em 59 horas e 19 min. Já na segunda etapa de monitoramento o maior tempo de

armazenamento foi de 122 horas e 30 minutos (revestimento blocos vazados) para uma chuva de 84mm com duração 117 horas e 55 minutos.

A defasagem na primeira etapa de monitoramento variou de 1h30min para o menor tempo até 4 horas para o maior valor. Para a segunda etapa as defasagens variaram de 1h25min (blocos vazados) até 28h15min (asfalto poroso).

O tempo de armazenamento de água influenciou na questão da separação dos eventos. Como citado anteriormente, neste estudo utilizou-se a definição de Bertrand-Krajewski et al. (2000) apud Acioli (2005), onde os autores definem que dois eventos chuvosos são independentes quando os efeitos ocasionados pelo primeiro cessaram antes do início do segundo evento. Com isso, considerou-se os eventos independentes quando o reservatório de brita do pavimento permaneceu sem água por um período igual ou superior a 12 horas. Parece evidente que na primeira etapa de monitoramento, ou seja, no primeiro ano de funcionamento do pavimento a separação dos eventos foi facilitada. Isso se deve ao fato de que o reservatório de brita ficar vazio por um tempo igual ou superior a 12 horas.

Com o passar do tempo, ou seja, após 3 anos de uso, os resultados mostram uma redução da capacidade de armazenamento, aumento do tempo de defasagem após início da precipitação e também um diminuição da capacidade de infiltração da água no subsolo adjacente.

A alteração de comportamento hidrológico do pavimento da primeira para a segunda etapa pode estar relacionada a saturação do geotêxtil localizado na parte inferior do reservatório de brita, além também da provável a colmatação do próprio reservatório de brita. A principal finalidade do geotêxtil é evitar a colmatação da brita. Esta manta também pode ficar colmatada e não exercer sua função de maneira adequada. Como não se tem conhecimento de como estão as condições no interior dos componentes do pavimento, acredita-se que com a possível colmatação do geotêxtil a água exerça pressão para atravessar o mesmo. Sendo assim os finos antes retidos podem ser liberados aos poucos para dentro do reservatório. Isso também possibilitaria a colmatação da camada inferior do geotêxtil. Outra hipótese para colmatação do reservatório e de que existam pontos de deterioração no geotêxtil fazendo com que ocorra caminhos preferenciais de escoamento e a consequente entrada de materiais para o interior do reservatório de brita. Para confirmação da hipótese seria necessário a realização de ensaios destrutivos através da extração de testemunhos (amostras) em alguns pontos do pavimento ou

a retirada total da camada superficial, camada de brita e geotêxtil.

É importante ressaltar que ensaios desta natureza não estão no escopo deste trabalho, podendo ser aplicados a estudos futuros.

Notou-se que com o aumento do tempo de armazenamento a separação dos eventos foi prejudicada, sendo que os efeitos de um evento de precipitação passaram a influenciar no evento seguinte. Assim, em algumas situações onde antes se considerava dois eventos separadamente, passou-se a considerar um evento somente. Como foi considerada a influência do evento anterior no evento seguinte, as durações dos de cada evento ficaram bem expressivas.

Do ponto de vista da drenagem urbana é mais interessante analisar eventos com grandes volumes precipitados de curta duração. Por esse motivo existe a necessidade de que mais eventos extremos sejam monitorados para a verificação do comportamento do pavimento permeável.

É importante ressaltar que nunca foi realizada nenhum tipo de manutenção ou limpeza do revestimento superficial em ambos os lados do pavimento. Considerou-se que a condição que mais se aproxima da realidade brasileira é a falta de manutenção. Logo para o estudo dos pavimentos permeáveis, tanto na primeira etapa do monitoramento quantitativo realizado por Acioli (2005), quanto na realizada neste estudo, não foram realizadas nenhum tipo de manutenção e limpeza no revestimento superficial da estrutura. Neste tipo de avaliação os custos de manutenção devem ser transferidos para os custos de substituição do revestimento superficial ou de todo pavimento. Além disso, com a perda da capacidade de infiltração superficial e a total deterioração da estrutura é possível avaliar qual o tempo de vida útil da mesma.

CONCLUSÕES

O presente trabalho descreve um estudo experimental de pavimento permeáveis que visa à mitigação do escoamento superficial urbano e controle da qualidade das águas pluviais. O experimento consiste em dois módulos de pavimentos permeáveis, com diferentes tipos de revestimento (blocos vazados e asfalto poroso).

Comparados com estudos anteriores no mesmo dispositivo, os dados indicam que, dos dois pavimentos permeáveis estudados, somente o de revestimento de blocos vazados continua fazendo o

controle adequado do volume de escoamento superficial, mesmo com valores de escoamento um pouco superiores aos encontrados no passado, no mesmo dispositivo experimental.

Foi observado um grande comprometimento da capacidade de infiltração no revestimento asfáltico. Os valores de coeficiente de escoamento superficial encontrados nesta segunda etapa do monitoramento demonstram serem maiores principalmente no revestimento de asfalto poroso. Isso indica uma obstrução da camada superficial que impede a infiltração da água, sugerindo a necessidade de manutenções periódicas para se conservar as características de porosidade do revestimento, bem como a prevenção de depósito de matéria granular, ou mesmo depósito de sedimentos.

Embora o geotêxtil tenha a finalidade de filtrar a água que fica armazenada no reservatório de brita, este pode também colmatar e não mais realizar sua função. Além disso, com a saturação do geotêxtil e a pressão que água exerce para atravessar o mesmo, os finos antes retidos podem ser liberados aos poucos para dentro do reservatório.

Pode ocorrer também deterioração do geotêxtil em alguns pontos do pavimento, fazendo com que exista penetração de materiais e que estes sejam transportados através do reservatório de brita possibilitando assim a colmatação.

Para uma melhor compreensão do que realmente acontece com o geotêxtil (camada superior e inferior) e com a camada reservatório é necessário testes destrutivos que permitam visualizar as condições do interior do pavimento após 5 anos de uso.

Fica claro que algumas questões relativas ao comportamento hidrológico do pavimento permeável só serão bem esclarecidas com a realização de uma manutenção, principalmente de limpeza da camada superficial. Assim é possível verificar se a infiltração superficial foi aumentada. Caso isso não se verifique, será necessário ensaios que inutilizem partes do pavimento para verificação do geotêxtil e camada reservatório.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa, bolsa de doutorado para a primeira autora e bolsa de produtividade em pesquisa para os demais autores.

À FINEP que concedeu recursos ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PRO-SAB), edital 5, tema 4 (Manejo de Águas Pluviais

Urbanas), possibilitando o desenvolvimento deste trabalho.

À Daiane M. Lino que contribui para o trabalho e recebeu bolsa de iniciação científica da FAPERGS.

REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L. A. *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte*. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- ANDRADE FILHO, A. G. de.; SZÉLIGA, M. R.; SZESZ, J. R. S. Utilização de micro-reservatório de detenção para atenuações de inundações em bacias urbanas. *Ciências Exatas e da Terra, Ciências Exatas e Engenharia*, v. 6, n. 1, p. 47-68, 2000.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. *Revista Brasileira dos Recursos Hídricos*, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BRATTEBO, B. O.; BOOTH, B. D. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research*, v. 37, n. 18, p. 4369-4376, 2003.
- COLLINS, K.; HUNT, W. F.; HATHAWAY, J. M. Hydrologic Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 13, n. 12, p. 1146-1157, 2008.
- COLLINS, K. A. *A field evaluation of four types of permeable pavement with respect to water quality improvement and flood control*. 2007. 291 f. Dissertation (Master in Biological and Agricultural Engineering) – Graduate Faculty of North Carolina State University, North Carolina, 2007.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Storm Water Technology Fact Sheet - Porous Pavement*. Fed. Regist, 832-F-99-023. 1999.
- PAGOTTO, C.; LEGRET, M.; LE CLOIREC, P. Comparison of the hydraulic behavior and the quality of highway runoff water according to the type of pavement. *Water Research*, v. 34, n. 18, p. 4446-4454, 2000.
- PINTO, L. L. C. A. *O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano*. 2011. 283 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SILVA, G. B. L. *Avaliação Experimental sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas*. 2006. 180 f. Tese (Doutorado Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- STEP. Sustainable Technologies Evaluation Program. Performance evaluation of permeable pavement and a bioretention swale Seneca College, King City. Ontario: Ontario Sustainable Technologies Evaluation Program, 2008. Disponível em: <http://www.sustainabletechnologies.ca/>. Acesso em: 23 out. 2010.
- URBONAS, B.; STAHR, P. 1993. *Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and cso management*. Englewood Cliffs: PTR Prentice Hall, 1993. p. 442.

Evaluation of the Quantitative Performance of Permeable Pavements for Controlling Surface Runoff

ABSTRACT

Permeable pavements with a structure of a layer reservoir are control devices used to decrease surface runoff, by allowing rainwater to go through them. These structures are used to induce infiltration of rainwater into the soil, and may offer an alternative for the disposal of urban runoff without taking up additional areas. The present study evaluates the evolution of performance for controlling surface runoff of an experimental device consisting of a parking lot with permeable pavements built in 2003, with an area of approximately 264m², divided into two types of superficial covering: porous asphalt and grass-covered concrete.

During the years of 2003 and 2004, the structure was designed, monitoring devices were detailed, and one year of monitoring was performed (first stage of monitoring). The

present study describes results of a second stage of monitoring, performed in 2007, 2008 and 2009.

The surfaces were never submitted to conservation or cleaning, seeking to characterize the condition usually found in most of the Brazilian cases. The performance results of the two monitoring stages of this source control device were compared, showing distinct changes of the quantitative aspects for the two types of coating. Quantitative analysis results of the seventeen observed events show that, in the second stage of monitoring, only the pavement with concrete garden blocks was still able to control the surface runoff volume adequately, even if the runoff values were slightly superior compared to those found in the past in the same experimental device.

The surface runoff coefficient values found in the second stage of monitoring were higher than in the first stage, especially in the porous asphalt cover.

Key-words: *runoff, permeable pavements, quantitative analysis.*