

Avaliação do desempenho hidrológico de protótipo de telhado verde extensivo

Evaluation of hydrological performance of a green roof extensive prototype

Tiago Martins Bacovis^[a], André Nagalli^[b]

^[a] Engenheiro ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: tiagobacovis@hotmail.com

^[b] Engenheiro civil, doutor, professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: andrenagalli@yahoo.com.br

Resumo

As inundações, consequência da ocupação do solo inadequado e de sua impermeabilização excessiva, se tornaram constantes na vida da população urbana. O processo de expansão das cidades, sem qualquer tipo de gestão ambiental, tornaram os ambientes vulneráveis a alagamentos em eventos pluviais. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho hidrológico de telhados verdes em comparação às coberturas convencionalmente usadas (telhas de fibrocimento, de cerâmica, aço galvanizado e lajes impermeáveis) perante eventos de chuva, a partir da realização de um experimento em escala reduzida. Foram construídos e investigados dois protótipos de mesmas dimensões, 2,2 m x 1,1 m, sendo um de telhado verde e o outro representando um telhado impermeável qualquer. Os protótipos foram submetidos a testes hidrológicos, simulações de chuva de 43,6 mm com tempo de duração de 16min, de forma a permitir verificar a eficiência do protótipo de telhado verde na atenuação dos picos de seu hidrograma perante três situações iniciais distintas de saturação do sistema. Foi avaliado o desempenho hidrológico, no âmbito do escoamento superficial e infiltração, avaliando-se e discutindo-se o funcionamento de cada protótipo. Os resultados demonstraram que a capacidade de retenção de água pluvial do telhado verde varia em função da condição de saturação do mesmo, com evidente antecipação do pico de cheia, de modo que se pode concluir que telhados verdes podem vir a contribuir para a atenuação de enchentes.

Palavra-chave: Telhado verde. Construções sustentáveis. Hidrologia de superfície.

Abstract

The floods are consequence of inappropriate soil use and excessive sealing and it became constant in the lives of the urban population. The process of expansion of the cities without any environmental management has



doi:10.7213/academica.10.S01.A004
Licenciado sob uma Licença Creative Commons

meant that such environments become vulnerable to flooding in rain events. This study aimed to evaluate the hydrologic performance of green roofs compared to conventionally used roofing (roof fibercement, ceramic, waterproofed slabs and galvanized steel) on rain events, starting of an experiment on a reduced scale. It was constructed and investigated two prototypes of 2.2 m x 1.1 m, being one of green roof and the other representing a common impermeable roof. The prototypes were submitted to hydrological tests, 43,6mm of rainfall simulation in sixteen minutes, which allowed verifying the efficiency of the green roof prototype in the attenuation of hydrograph peaks face of three distinct situations of saturation of the system. The hydrological performance was evaluated discussing the functionality of each one of the prototypes. The results showed that the green roof's rain water retention capacity varies depending on the initial moisture condition, but the delay on the flow time doesn't.

Keywords: Green roof. Sustainable buildings. Urban drainage.

Introdução

O homem alterou o ambiente natural com o intuito de atender suas necessidades e desejos, tornando inevitáveis desequilíbrios ambientais. A impermeabilização do solo é uma das primeiras alterações que surge com o intenso processo de urbanização. Como a taxa de infiltração da água no solo foi reduzida e concentrada em certos pontos, aumenta-se então o escoamento superficial, e, conseqüentemente, as enchentes urbanas, que podem causar danos ambientais, materiais e aos humanos, com diversas consequências econômicas e sociais. Atuar sobre os dispositivos responsáveis por captar e conduzir essas águas é, portanto, uma necessidade.

Como alternativa sustentável para promoção dessa drenagem, os telhados verdes vêm sendo utilizados cada vez mais em edificações. Há décadas telhados verdes têm sido utilizados na Europa com objetivo de reduzir os alagamentos em eventos de risco (ROSSETI, 2009). Entende-se por telhado verde o sistema construtivo de mantas, substrato e vegetação que, postos sobre coberturas planas ou inclinadas de edificações, podem trazer benefícios socioeconômicos e ambientais. Na sua composição, diversos materiais podem ser empregados, variando de acordo com o executor, necessidades e desejos do usuário, espaço disponível, custo, tipo de cobertura da edificação, capacidade de suporte bem como a localização da área, pois as condições naturais podem interferir diretamente no tipo de espécies vegetais que serão utilizadas.

Há basicamente dois tipos principais de telhado verde: o extensivo e o intensivo. O extensivo é caracterizado por possuir baixa profundidade de substrato, plantas de pequeno porte que exigem pouca manutenção graças ao seu lento e baixo crescimento conseqüentemente, baixo peso. O intensivo é caracterizado por possuir espessura maior de substrato, maior diversidade de espécies vegetais, podendo abrigar plantas de pequeno e médio porte, e maior capacidade de retenção de água e nutrientes, tendo também suas desvantagens, já que exige manutenções e irrigações regulares e uma estrutura de suporte mais reforçada, o que implicará sobrecarga maior na estrutura de suporte (PECK; CALLAGHAN, 1999).

Pode ser utilizada uma diversidade de plantas de pequeno porte como: rosinha do jardim (*Aptenia cordifolia*), grama-amedoim (*Arachis repens*), rabo de gato (*Acalypha reptans*), gravatinha (*Chlorophytum comosum*), cebolinha-de-jardim (*Aulbine frutescens*), margaridinha-amarela (*Coreopsis lanceolata*), orelha-de-rato (*Dichondra repens*), capim-chorão (*Eragrotis curvula*), azulzinha (*Evolvus glomeratus*), cacto-margarida (*Lampranthus productus*), camarará (*Lantana camara*), falso-iris (*Neomarica carulea*), grama-batatais (*Paspalum notatum*), bol-do (*Plectranthus barbatus*), ruélia-azul (*Ruellia coerulea*), vedélia (*Sphagneticola trilobata*), bálsamo (*Sedum dendroideum*), estrela-gorda (*Sedum multiceps*), além de muitas outras espécies.

A adoção do telhado verde no planejamento urbano pode contribuir para mitigação dos efeitos de intensas chuvas, por causa do fato de seu desempenho hidrológico ser totalmente diferente ao dos

modelos convencionalmente utilizados em coberturas de edificações. Segundo Kolb (2003), o coeficiente de escoamento em um telhado convencional varia de 0,8 a 1,0, ou seja, 80 a 100% do volume precipitado escoam para o solo impermeabilizado das cidades, enquanto em telhados verdes tal coeficiente, de acordo com FLL (2002), pode variar entre 0,1 a 0,8.

Considerando a capacidade do telhado verde em retenção de águas pluviais, esta pode variar, em média, de 40 a 80% do volume total das precipitações anuais e reduzir os volumes de pico de 60 a 80% (PALLA; GNECO; LANZA, 2010). Tais valores podem variar de acordo com o tipo de vegetação e materiais utilizados bem como sua espessura. Seus efeitos na redução do escoamento superficial são oriundos da diminuição no volume de água escoado e do atraso no pico do escoamento (CASTRO; GOLDENFUM, 2008).

Segundo Kolb (2003), sistemas conjuntos de telhados verdes e cisternas de captação, poderiam tornar possível manejar o uso de águas pluviais sem que fosse interligada às galerias, evitando sua saturação e, conseqüentemente, os alagamentos. Outros benefícios podem ser ainda obtidos pelo uso de telhados verdes, como o combate à poluição visual, comum nos grandes centros urbanos, o conforto termo-acústico para a edificação, a economia de custos com energia elétrica e água, a melhoria da qualidade do ar, bem como o aumento da biodiversidade local, valorizando assim sua importância perante o meio ambiente.

Com base nessas informações, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho hidrológico de um telhado verde e compará-lo aos modelos de coberturas convencionalmente utilizados (lajes de concreto, coberturas metálicas, telhas cerâmicas e de fibrocimento) a partir de dois protótipos desenvolvidos.

Materiais e métodos

O método da pesquisa consistiu na execução de modelos de telhados, em escala reduzida, a fim de simular chuvas e verificar a resposta hidráulica de coberturas executadas. Foram construídos dois protótipos: um de telhado verde extensivo e outro apenas impermeabilizado com lona preta de

forma que representasse uma cobertura convencional qualquer. Ambos os modelos foram construídos com as mesmas dimensões (1,1 m x 2,2 m), inclinação de 5° e altura em relação ao solo (80 cm do lado esquerdo, 62 cm do lado direito), alterando-se apenas o material constituinte interior.

No experimento, simulou-se uma chuva de intensidade 43,6 mm e tempo de duração de 16min para verificar a variação do volume escoado ao longo do tempo em cada protótipo. A adoção desse tempo de duração da “chuva” de 16min, aliado à altura pluviométrica de 43,6 mm, pode representar uma chuva pouco forte, que, aliada à área dos protótipos, “precipita” aproximadamente 96 L. Os resultados foram cronometrados, tendo sido construídas as respectivas tabelas e gráficos de desempenho.

Na construção dos protótipos, foram utilizados os seguintes materiais: quatro madeirites (2,2 m x 1,1 m x 15 mm), lona impermeabilizante (preta), 50 kg de substrato (terra), 20 kg de argila expandida, geotêxtil bidim RT 07 (cinza), quatro ralos de chuva (marca tigre de diâmetro de 11 cm) e grama São Carlos (*Axonopus compressus*). Como equipamentos empregados na pesquisa, utilizou-se: uma mangueira com bico pulverizador (marca Tramontina), um cronômetro, uma régua métrica com dobradura, dois baldes de 12 L e dois galões de 20 L com marcaadores. Para simular a chuva foi utilizada a mangueira com bico de pulverizador de vazão de 0,1 L/s, e para a medição dos volumes coletados em relação ao tempo (medido a cada 2min) utilizaram-se dois galões de 20 L, dois baldes de 12 L e um cronômetro.

Os métodos utilizados nos testes foram todos manuais. Foram necessárias duas pessoas para a execução dos testes. A primeira pessoa foi encarregada de simular a chuva, e a segunda tinha a função de cronometrar os 16min de duração da chuva, medir os volumes coletados a cada 2min, tirar algumas fotos e verificar o tempo de término do escoamento. Reguladores de fluxo foram utilizados visando à uniformização da taxa de aplicação da chuva.

Os protótipos foram construídos em meados de julho de 2010. Previamente à execução dos testes hidrológicos, foi aguardado um período de aproximadamente 45 dias para o crescimento da grama e sua adaptação ao meio. Foi realizado um primeiro teste no período da tarde do dia 1° de setembro de 2010 e o segundo teste no dia 27 de

setembro de 2010 também no período da tarde, sendo cada teste uma campanha de quatro ensaios sendo três ensaios realizados no protótipo de telhado verde e apenas um no outro protótipo. Para efeito dos resultados só foi considerado o segundo teste.

O protótipo de telhado verde foi submetido a três ensaios de forma que possibilitasse analisar seu desempenho hidrológico perante três situações iniciais distintas de saturação do seu sistema (seco, semisaturado e saturado); o outro protótipo foi submetido a apenas um ensaio, pois o mesmo não tem qualquer capacidade de retenção de água, ou seja, sua impermeabilização faz que seja considerado sempre “saturado”, e todos os ensaios simularam uma chuva de 43,6 mm com tempo de duração de 16min. A Figura 1 apresenta os protótipos e demonstra como foi realizada a simulação da chuva.

Resultados e discussão

Para a análise dos resultados foram utilizados os dados referentes ao segundo teste (campanha com quatro ensaios). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1 e Gráfico 1, e quando observados, pode-se constatar a eficiência do desempenho hidrológico do protótipo de telhado verde em relação ao protótipo impermeabilizado, no aspecto de redução e retardamento do escoamento superficial. A Tabela 1 apresenta os valores dos volumes medidos (a cada 2min) e dos valores acumulados ao longo do tempo.

Observa-se, na Tabela 1, que o ensaio realizado no protótipo de telhado impermeabilizado apresentou um desempenho hidrológico já previsto. Para a chuva simulada de 43,6 mm com tempo de duração de 16min, praticamente 100% do volume precipitado foi coletado, 94,75 L equivalente a

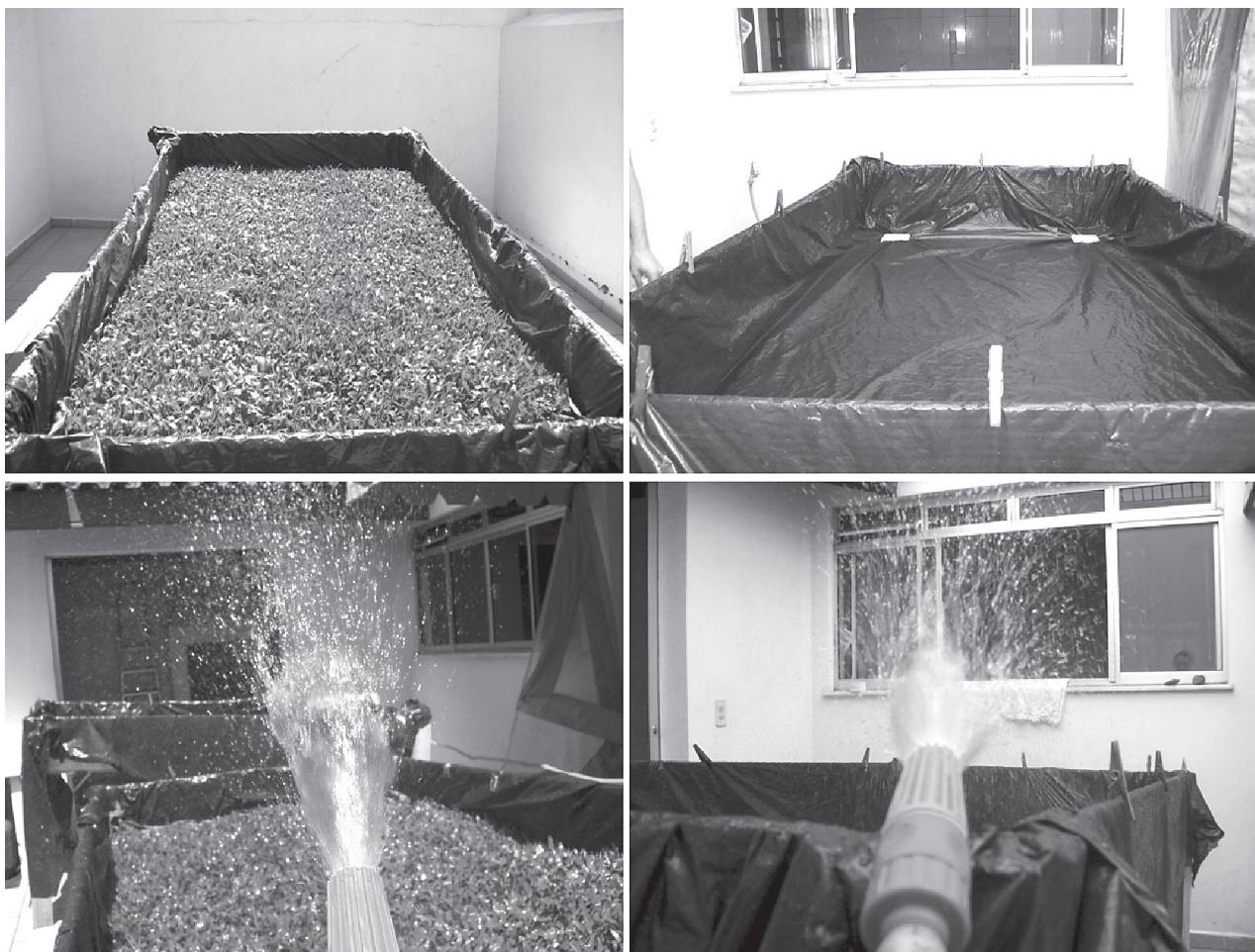


Figura 1 - Fotos dos protótipos e da simulação da chuva

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 1 - Volumes medidos e acumulados em relação ao tempo dos dois protótipos

Tempo (min)	Protótipo de telhado impermeabilizado				Protótipo de telhado verde			
	Primeiro ensaio		Primeiro ensaio		Segundo ensaio		Terceiro ensaio	
	Volume (L)	Volume acumulado (L)	Volume (L)	Volume acumulado (L)	Volume (L)	Volume acumulado (L)	Volume (L)	Volume acumulado (L)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10,5	10,5	0	0	2,25	2,25	5,25	5,25
4	11,75	22,25	5,5	5,5	9,5	11,75	10,75	16
6	12	34,25	10	15,5	10,5	22,25	11,5	27,5
8	12,5	46,75	11	26,5	11	33,25	11	38,5
10	12,75	59,5	11,25	37,75	11,75	45	11,75	50,25
12	11,5	71	10,25	48	11	56	12,25	62,5
14	11,75	82,75	10	58	10,75	66,75	11,25	73,75
16	12	94,75	9,75	67,75	10,5	77,25	11	84,75
18	0	94,75	7	74,75	9	86,25	10,25	95
20	0	94,75	0	74,75	0	86,25	0	95

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: Chuva simula 43,6 mm/ tempo de duração 16 min Volumes minutos; Área dos protótipos = 2,21 metros; Volume precipitado = 96 litros.

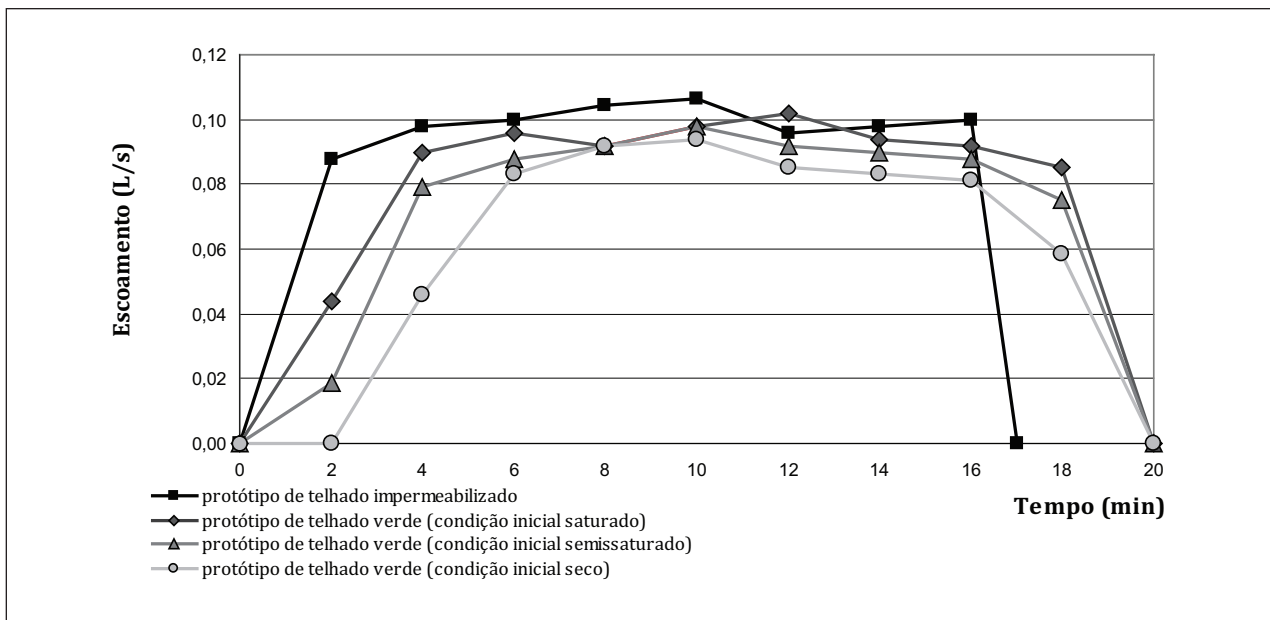


Gráfico 1 - Vazão do escoamento ao longo do tempo no protótipo de telhado verde e no protótipo de telhado impermeabilizado (L/s x min)

Fonte: Dados da pesquisa.

43,1 mm da chuva simulada. Quanto ao protótipo de telhado verde, o primeiro ensaio, que simulou uma condição inicial de umidade seco, observa-se taxa de recuperação de 78% do volume precipitado, 74,75 L (34mm), 21% a menos que o protótipo impermeável.

No segundo ensaio, que simulou uma condição inicial de semissaturado, a recuperação aumentou para 90%, ou seja, 86,25 L (39,2 mm). Já no terceiro ensaio (condição inicial de saturado) houve retorno de 99% do volume precipitado, equivalente a 95 L (43,2 mm),

ou seja, praticamente o mesmo volume coletado no protótipo impermeabilizado que apresentou 94,75 L. O Gráfico 1 apresenta a vazão do escoamento de cada protótipo ao longo do tempo.

Analisando o Gráfico 1, observa-se que o desempenho hidrológico do protótipo de telhado verde é bastante distinto do telhado impermeável, em qualquer condição de saturação. Nota-se que o protótipo de telhado impermeabilizado tem o pico do hidrograma antecipado em relação aos protótipos de telhado verde, alcançando a vazão de pico em aproximadamente 4min, tempo este semelhante ao protótipo de telhado verde, embora com uma vazão de pico superior (0,1 L/s contra 0,09 L/s). Por outro lado, a recessão do hidrograma referente ao protótipo impermeabilizado, após cessar a precipitação aos 16min, é praticamente imediata (1min), quando comparada ao protótipo de telhado verde, cuja recessão se dá em cerca de quatro minutos.

No que se refere à condição de saturação do protótipo de telhado verde, nota-se que a umidificação do sistema influencia diretamente no desempenho hidrológico. O tempo de pico do hidrograma (tempo de ascensão) é alterado, e quanto maior a umidade do telhado verde mais espaçado é o pico. Por outro lado, quanto maior a saturação mais abrupta é a recessão do hidrograma.

Analisando conjuntamente a Tabela 1 e o Gráfico 1, observa-se que o início do escoamento no protótipo de telhado impermeabilizado acontece logo após o início da chuva simulada, pois o referido telhado, dada sua impermeabilização, não apresenta capacidade de retenção de água. Aos 2min com uma vazão de 0,09 L/s ou 5,25 L/min, o volume coletado já chega aos 10,5 L e aos 4min atinge 22,25 L. Percebe-se que a estabilização do escoamento acontece já nos primeiros 2min e se estende até seu fim variando a vazão de 0,09 L/s a 0,11 L/s. Aos 10min é que ocorre a maior vazão de 0,11 L/s ou 6,38 L/min, representando a vazão de pico do escoamento. A simulação da chuva tem seu fim aos 16min e após 40s acontece o fim do escoamento.

Depreende-se, portanto, que o protótipo impermeável não tem qualquer capacidade de reter água, apresentando coeficiente de escoamento de 0,99, ou seja, em um ambiente urbanizado praticamente toda a água precipitada se tornaria escoamento superficial. Com relação ao tempo de retenção da água, este foi considerado baixo visto sua característica de impermeabilidade, pois, logo que começa a chuva

simulada, inicia-se o escoamento e logo que termina cessa-se o escoamento, totalizando 94,75 L em 17min, uma média de 5,57 L/min.

Tratando-se do protótipo de telhado verde, em seu primeiro ensaio, no qual se simulou uma condição inicial de umidade seco, observa-se que o início do escoamento só acontece após 2min da chuva simulada começar, e aos 4 min o volume escoado ainda é pequeno, 5,5 L, quase a metade do que no outro protótipo que apresentou 10,5 L e em 2min, pois aos 4min apresentou 22,25 L. Com a infiltração da água nas camadas que compõem o telhado verde, ao invés de simplesmente escoar sem qualquer obstáculo, há um aumento no tempo retenção da água no telhado, retardando em pouco mais de 2min o início do escoamento e reduzindo o volume escoado em quatro vezes, nos primeiros 4min, se comparado ao outro protótipo.

Nota-se que aos 6min, no telhado verde, ocorre a estabilização do escoamento que se estende até os 16min variando a vazão de 0,08 L/s a 0,09 L/s, menor que no protótipo de telhado convencional. Aos 16min, a vazão começa a decair, haja vista que a “chuva” cessou, porém o escoamento tem duração até os 20min, ou seja, 4min após ter encerrado a precipitação. Então, além de um retardo no início do escoamento e na atenuação do pico do hidrograma, também houve um retardo no estabelecimento da sua curva de recessão, ou seja, o hidrograma foi deslocado no tempo, e o volume precipitado distribuído de uma forma mais uniforme, quando comparado ao protótipo impermeabilizado.

Portanto, o protótipo de telhado verde apresentou um bom desempenho hidrológico quando seco. Sua capacidade de retenção de águas pluviais foi de 22%, equivalente a 9,63 mm da precipitação simulada, ou 21,25 L, 12,62 L/m², apresentando coeficiente de escoamento de 0,77. Quanto à capacidade de aumentar o tempo de detenção das chuvas, diminuindo as vazões do escoamento, os telhados verdes demonstraram boa capacidade ao conseguir retardar o início do escoamento em 2min e prolongar seu término em até 4min do fim da “precipitação”. As maiores vazões (média de 0,09 L/s) duraram dos 6 aos 16min; no outro protótipo (média de 0,1 L/s), duraram dos 2 aos 16min, ou seja, além de reduzir o tempo das maiores vazões, conseguiu reduzir a vazão em 0,01 L/s. Em 20min escoaram 74,75 L, uma média de 3,73 L/min, quase 2 L a menos por minuto que o outro protótipo.

O segundo ensaio no protótipo de telhado verde foi realizado 30min após o primeiro ensaio, de forma a simular a condição de umidade de seu sistema semissaturado. Como parte de suas camadas já continha uma parcela de água, seu desempenho hidrológico foi inferior se comparado quando estava seco, porém se comparado ao outro protótipo ainda apresentou um desempenho mais eficaz.

Analisando os primeiros minutos, nota-se que o início do escoamento acontece mais rápido do que quando estava seco. Aos 2min, o volume coletado, que antes era 0 L, passou para 2,25 L e aos 4min para a 11,5 L. Como no primeiro ensaio o escoamento só se iniciou após 2min, e aos 4min o volume coletado ainda era de 5,5 L, então o protótipo de telhado verde, nas condições de semissaturado, acelerou o escoamento inicial em 2min e quase dobrou o volume quando passaram 4min. Observa-se que a estabilização do volume escoado acontece aos 4min e vai até os 18min, variando a vazão entre 0,08 L/s a 0,09 L/s, a mesma que no primeiro ensaio, porém se antecedeu e se prolongou 2min. Aos 20min, cessa-se o escoamento, após 4min do fim da chuva simulada.

Portanto, em condições de semissaturação, seu desempenho hidrológico apresentou-se inferior se comparado ao primeiro ensaio em que estava seco. Sua capacidade de retenção de água foi reduzida pela metade, de 22% passou para 10%, apenas 9,75 L ficaram retidos em suas camadas, menos de 5 L/m², apresentando um coeficiente de escoamento de 0,89. Porém, ao tratar da sua capacidade de retardar o tempo do escoamento, ainda foi considerado eficiente quando comparado ao protótipo impermeável, que aos 2min possuía o dobro do seu volume, além de ter prolongado em quase 4min o fim do escoamento. Durante os 20min decorridos, escoaram 86,25 L, uma média de 4,3 L/min, 0,5 L/min a mais que quando seco e aproximadamente 1,3 L/min a menos se comparado ao protótipo de telhado impermeabilizado, que apresentou 5,57 L/min.

O terceiro e último ensaio realizado no protótipo de telhado verde aconteceu 30min após o segundo ensaio, de forma a simular uma condição inicial de saturado. Nota-se que o escoamento se inicia logo após o início da chuva simulada e aos 2min o volume coletado já é de 5,25 L. Aos 4min, há a estabilização da vazão do escoamento que dura até os 18min, quando começa a decair, até se anular a zero, aos 20min.

Durante o tempo de estabilização, a vazão variou entre 0,09 L/s a 0,1 L/s, ou seja, a mesma variação que no protótipo impermeabilizado.

Sua capacidade de retenção foi inferior a 1%, ou seja, pouco menos que 1 L, visto que ele já se encontrava totalmente saturado, porém, mesmo nessas condições, ainda foi capaz de retardar o tempo do escoamento em até 4min após o fim da “chuva”. Em 20min escoaram 95 L, uma média de 4,75 L/min, sendo ainda inferior ao protótipo de telhado impermeabilizado. Deste modo, sua capacidade de reter água foi considerada nula, porém o tempo de detenção da chuva ainda foi significativo.

Assim, como o objetivo dessa pesquisa foi verificar se o desempenho hidrológico de um telhado verde pode contribuir para reduzir as enchentes, observou-se o alcance do mesmo, porém os índices de retenção obtidos não foram compatíveis com os estudos de Moran, Hunt e Jennings (2003), Palla, Gneco e Lanza (2010), Rosenzweig, Gaffin e Parshall (2006) e Kolb (2003). A maior porcentagem do volume retido nas suas camadas chegou a apenas 22% (21,25 L ou 12,62 L/m²) em relação ao volume precipitado enquanto que Moran, Hunt e Jennings (2003) constataram capacidade de retenção superior a 49% e inferior a 90%; Palla, Gneco e Lanza (2010) observaram média de retenção de 40 a 80%; Rosenzweig, Gaffin e Parshall (2006) média de retenção de 80%; Kolb (2003) apontou que telhados verdes extensivos têm capacidade de reduzir o escoamento em 50% do total das precipitações anuais e um intensivo em 70%. Ainda, segundo o Instituto Cidade Jardim (2009), seu sistema de biotelhado apresentou capacidade de armazenar 32 L/m² das águas pluviais, o que representaria em mais que 60% do volume “precipitado” se fosse adotado tal sistema no experimento. Todos os autores observaram valores superiores a 40%, tendo, provavelmente, como responsáveis por essa diferença a espessura, os tipos de materiais utilizados no telhado verde ou a intensidade pluviométrica e tempo de duração da chuva.

Logo, em diferentes condições iniciais de umidade (seco, semissaturado e saturado), no momento em que acontece a “chuva”, o protótipo de telhado verde apresentou sua capacidade de reter água reduzida na medida em que quanto mais saturado apresentava-se seu sistema menor era tal capacidade. Porém demonstrou que é capaz de retardar o escoamento em até 4min, independentemente da sua situação inicial de saturação.

Conclusões

O protótipo de telhado verde demonstrou que tem capacidade de mitigar os efeitos oriundos de chuvas intensas (43,6 mm, em 16min), se comparado ao outro protótipo que representou um telhado convencional qualquer.

Os ensaios realizados no protótipo de telhado verde demonstraram que, para uma simulação de chuva de 43,6 mm e com tempo de duração de 16min, a capacidade de reter água do telhado verde variou de acordo com a sua condição inicial de saturação, porém o tempo de retardo do escoamento não. Observou-se, nos três ensaios, retenção da água “precipitada” de 22%, 10% e 1%, respectivamente; e tempo de recessão do hidrograma de 4min, enquanto que o telhado impermeável teve o fim do escoamento logo após o fim do evento, ou seja, o hidrograma foi deslocado no tempo, e o volume precipitado distribuído de uma forma mais uniforme.

Percebeu-se, com a realização deste trabalho, que telhados verdes podem contribuir plenamente para mitigar os efeitos oriundos das enchentes urbanas se adotados no planejamento urbanístico de forma coletiva, sendo uma alternativa potencial de substituição aos modelos tradicionais.

Recomenda-se, para novos trabalhos, a elaboração de testes com simulações de chuvas com variações de intensidade e tempo de duração, de forma a avaliar seu desempenho hidrológico em chuvas menos intensas e em chuvas com tempos de duração maior, já que, supostamente, para chuvas mais fracas, o telhado verde pode ser mais eficiente no aspecto de retenção de águas pluviais. Outra demanda é o estudo experimental de telhados verdes visando a verificar sua eventual contribuição para aspectos de poluição difusa, por meio de seu material orgânico (raízes, terra, etc.), que poderiam, por hipótese, afetar os sistemas urbanos.

Referências

- CASTRO, S. A.; GOLDENFUM, A. J. **Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2008. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/InformacoesInterna/Resultados%20Preliminares%20Telhado%20Verde.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2010.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU – FLL. **Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen**. Bonn, 2002.
- INSTITUTO CIDADE JARDIM – ICJ. **Informativo técnico 01-2009**: Sistema Biotelhado Cidade Jardim com reservatório interno de água. 2009. Disponível em: <http://www.telhasempreviva.com.br/E56499B0-C73A-43A8-BDAF-F8425B8E317C_files/Informativo%20Te%CC%81cnico%2001-2009.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2010.
- MORAN, A.; HUNT, B.; JENNINGS, G. **A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality and plant growth**. 2003. Disponível em: <<http://www.bae.ncsu.edu/greenroofs/GRHC2004paper.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2010.
- KOLB, W. Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4, 2003, Juazeiro. **Anais eletrônicos...** Juazeiro: ABCMAC, 2003. CD-ROM.
- PALLA, A.; GNECO, I.; LANZA, L. G. Hydrologic restoration in the urban environment using green roofs. **Water**, v. 2, n. 2, p. 140-154, 2010. doi:10.3390/w2020140.
- PECK, S. W.; CALLAGHAN, C. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. 1999, p. 12-13. Disponível em: <<http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/Greenbacks.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2010.
- ROSENZWEIG, C.; GAFFIN, S.; PARSHALL, L. **Green roofs in the New York metropolitan region: research report**. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies. New York, 2006. p. 5-15. Disponível em: <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2006/2006_Rosenzweig_etal.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2010.
- ROSSETI, C. A. K. **Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

Recebido: 26/01/2011
Received: 01/26/2011

Aprovado: 14/03/2013
Approved: 03/14/2013