

# ANALISE QUALI-QUANTITATIVO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO PELA AGUA DA CHUVA ATRAVES DE COBERTURA VERDE LEVE

*Paulino de Almeida Neto  
Arã Pereira Cunha  
Alfredo Akira. Ohnuma Júnior  
Eduardo Mario Mendiondo*

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador Sãocarlense, nº400. Centro. CEP 13566-590. São Carlos/SP

**RESUMO:** Este capítulo apresenta um estudo de teto verde ou cobertura verde leve (CVL) como alternativa construtiva para edificações em geral. A instalação de um protótipo experimental nas dependências do Campus 1 da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, visa avaliar quali-quantitativamente o escoamento superficial gerado pela água da chuva a partir do telhado verde. O monitoramento hidrológico utiliza equipamentos de precisão como linígrafos de bóia, automáticos e digitais, com funções para: registrar e medir o nível de água; medir a temperatura e a condutividade elétrica. Os eventos avaliados utilizam dados de precipitação que são capturados a partir de estação climatológica instalada próximo ao experimento. Os resultados indicam uma eficiência no volume de armazenamento obtido pela CVL, tendo como característica temporal à capacidade de retardar o escoamento. As recomendações incluem: simulações do telhado verde em áreas maiores, com diferentes inclinações; análise de experimento com aplicação para o aproveitamento da água da chuva proveniente da CVL e estudo da infiltração no telhado verde relacionado à declividade.

**Palavras-chave:** geração de escoamento, cobertura verde leve, quali-quantitativo

## INTRODUÇÃO

O processo acelerado da urbanização, aliado à carência de leis restritivas ao parcelamento de uso do solo e da ausência de aplicações tecnológicas de responsabilidade ambiental na construção de novos lotes, favorece a ocorrência de impactos ambientais, como por exemplo, as inundações urbanas. O aumento da temperatura em escala meso-climática, associado às ilhas de calor nos grandes centros urbanos e ao aumento do efeito estufa, é um indicativo de que o ambiente construído de forma ambientalmente irresponsável não tem suportado o efeito das mudanças drásticas provocadas pela crescente demanda populacional. A preocupação com os aspectos ambientais e a busca por alternativas construtivas mais ecologicamente viáveis fez com que fossem estudadas tecnologias de construção com o menor impacto ambiental possível e de fácil execução.

O uso de coberturas verdes leves ou CVL's, como sistema construtivo de aplicação nas lajes ou coberturas de edificações, é uma alternativa tecnológica com capacidade para assegurar parte do escoamento superficial gerado pela água das chuvas. Permite também armazenar e distribuir temporalmente o volume de escoamento superficial bem como influir na diminuição dos efeitos térmicos no interior da edificação.

A história das coberturas verdes, conforme o Centro de Pesquisa de Telhado Verde PennState (2004), data milhares de anos. O telhado verde mais famoso da época era o Jardim Suspensão da Babilônia, considerado uma das sete maravilhas do mundo. As estruturas terreas construídas por volta de 500 a.C. eram de feixes de pedra com camadas superpostas, piche grosso e posteriormente o plantio do teto verde composto de solo, plantas e árvores. As mais antigas coberturas verdes conhecidas na América do Norte foram instaladas nos anos de 1930 no centro de Rockefeller. São jardins sobrepostos nas coberturas que continuam a florescer até hoje após quase setenta anos de instalação.

Na Europa, após décadas de estudo das CVL's, os alemães melhoraram a técnica do telhado transformando-o em uma fina obra de arte. O aprimoramento da tecnologia construtiva fez com que cerca de 10% das construções com telhados alemães fossem feitas de teto verde. PennState (2004) indica que no período de 1989 e 1999, as companhias alemãs do setor de coberturas instalaram mais de 32,5 milhões de m<sup>2</sup> de telhados verdes.

O volume do escoamento superficial proveniente das águas pluviais na cobertura tradicional é maior do que ocorre no teto verde. Na CVL a parte da água precipitada infiltra na superfície e a outra parte retorna ao sistema pelo processo de evapotranspiração. O restante escoa para o sistema de esgoto e de águas pluviais.

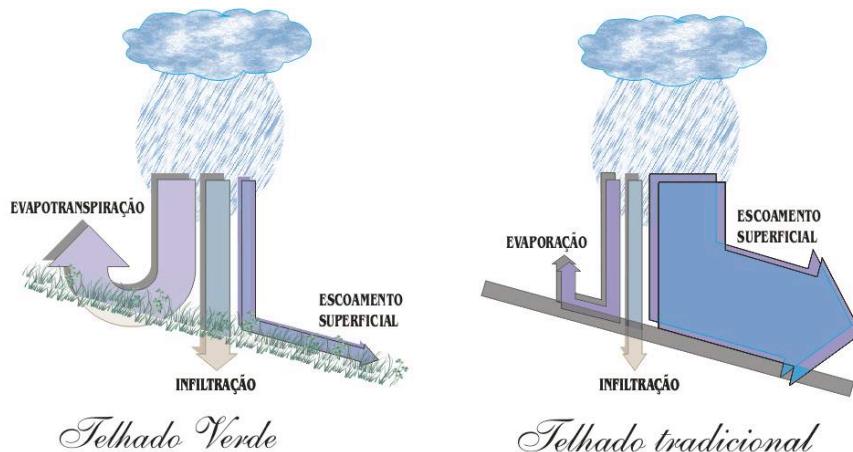


Figura 1 - Comparação da geração do escoamento de uma cobertura verde com uma cobertura tradicional.

Na cobertura tradicional a água da chuva escorre diretamente para o sistema público, ocasionando assim, um super fluxo de lavagem natural das ruas que muitas vezes tende a gerar as inundações urbanas.

## OBJETIVO

O objetivo principal deste capítulo é analisar quantitativamente o escoamento superficial gerado pela água da chuva a partir do monitoramento instalado em um protótipo experimental de cobertura verde leve (CVL). O objetivo específico é avaliar as condições de condutividade elétrica e temperatura da água escoada pelo teto verde.

## METODOLOGIA

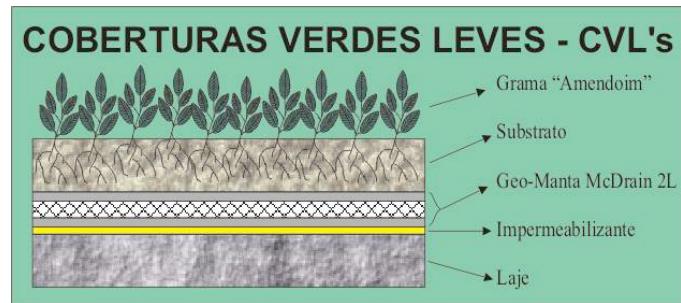
### Características do experimento

O protótipo para a execução da CVL situa-se em local livre de sombreamentos. A cobertura é construída em um prédio pré-existente nas dependências do Campus 1 da

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, com dimensão da laje pré-moldada de 2,8m x 4,2m. São colocadas duas saídas para o escoamento de águas pluviais. A água coletada serve para: o estudo hidrológico, a verificação da redução do escoamento de *runoff* e a coleta de amostra da água de chuva escoada pelo telhado a fim de determinar o seu aproveitamento, como a própria irrigação do sistema de cobertura. As camadas do substrato para a composição da CVL são: laje, impermeabilizante, geo-manta, substrato e grama.



**Figura 2 – Sistema de protótipo de CVL com armazenamento de águas pluviais.**



**Figura 3 – Camadas de substratos da CVL.**

### Instalação do monitoramento

Utilizam-se três equipamentos de medição de nível e um equipamento de medição de temperatura e condutividade da água para o monitoramento das condições do sistema. Com relação à determinação da condutividade, a medida escolhida para a geração dos dados é a condutividade específica. Essa opção converte imediatamente a medida de condutividade para condutividade a 25°C.

Os equipamentos utilizados no monitoramento fazem parte do Laboratório Ambiental para o Ensino de Graduação da EESC-USP e são:

- a) WL 15 Water Level Logger: equipamento para monitorar e gravar o nível da água.
- b) CTD-DIVER: equipamento para medir o nível, a temperatura e a condutividade da água.
- c) Linígrafo de Bóia Convencional: aparelho de registro contínuo para medir o nível da água baseado nas oscilações de um flutuador.



**Figura 4 - WL 15 Water Level Logger**



**Figura 5 - CTD-DIVER**



**Figura 6 - Linígrafo de Bóia Convencional**

Nas imediações do protótipo está instalada uma estação meteorológica contendo Data-Logger e Módulo de Armazenamento Modelo, juntamente com um: pluviômetro, sensor de radiação solar, sensor de ultravioleta, temperatura e umidade relativa do ar, pressão barométrica, sensor de direção e velocidade do vento para a coleta dos dados hidrometeorológicos. Todos para serem utilizados no estudo hidrológico da cobertura

### Comparação dos dados de chuva

Para validar os dados de chuva coletados pela estação meteorológica foi feita uma comparação com outras estações climatológicas instaladas na região central de São Carlos/SP.

Tabela 1\_ Dados de chuva das três estações verificadas.

ANO/MÊS	CVL	FADISC	FORUM
2004/MAIO	141,94	136,50	139,90
2004/JUNHO	26,67	35,30	28,70
2004/JULHO	45,97	42,10	39,90
2004/AGOSTO	0,00	0,00	0,00
2004/SETEMBRO	9,91	8,50	8,00
2004/OUTUBRO	127,76	146,30	112,70
2004/NOVEMBRO	209,06	184,20	
2004/DEZEMBRO	264,42	226,50	
2005/JANEIRO	580,12	541,00	
2005/FEVEREIRO	74,13	53,10	57,50
2005/MARÇO	176,28	195,70	134,80
2005/ABRIL	62,49	39,30	31,30
2005/MAIO	67,31		70,20
2005/JUNHO	24,13	13,80	12,10
2005/JULHO	6,35	4,80	3,50

Meses em que a estação não estava funcionando.

Mês em que a estação não coletou dados todos os dias.

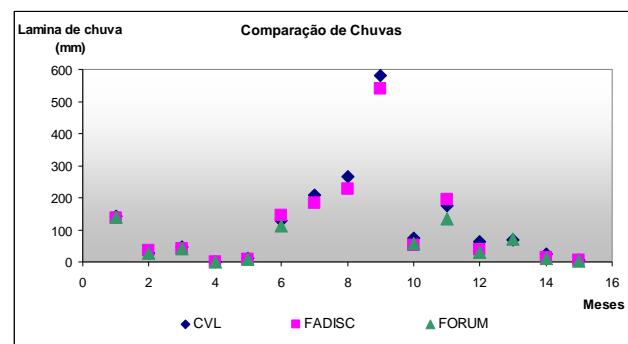
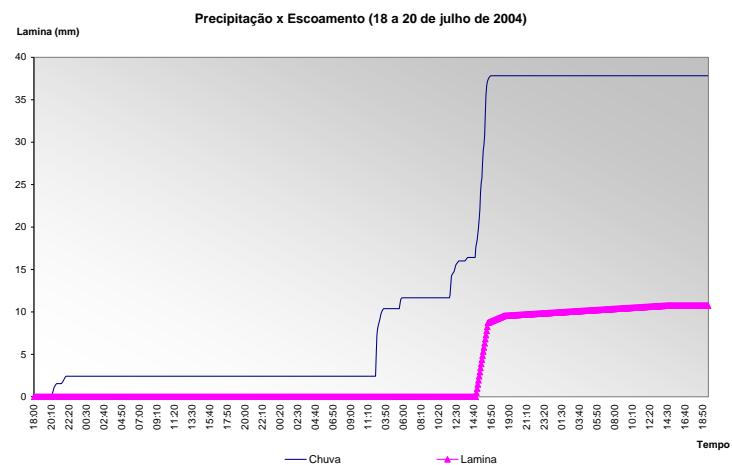
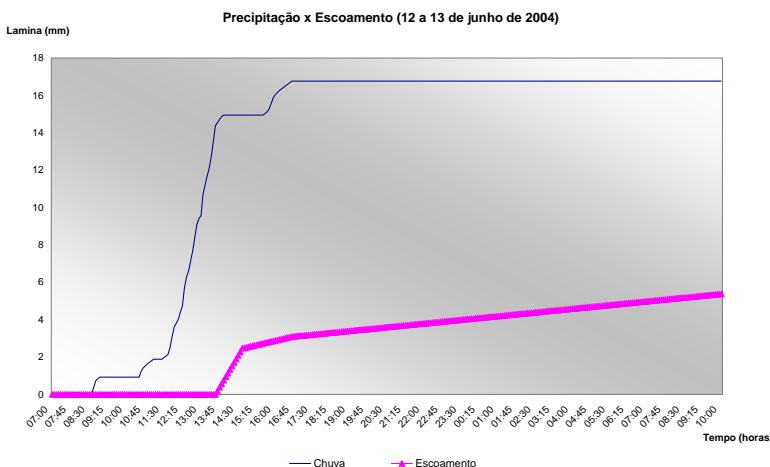


Figura 7\_ Gráfico das comparações das chuvas.

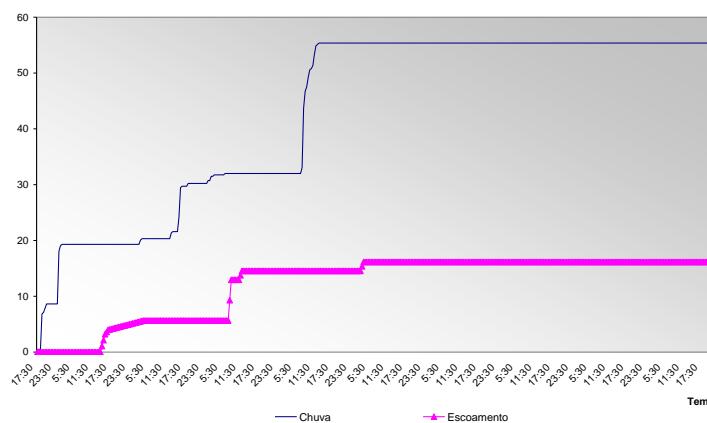
## RESULTADOS

### Analise quantitativa do escoamento superficial gerado por uma cobertura verde leve (CVL).



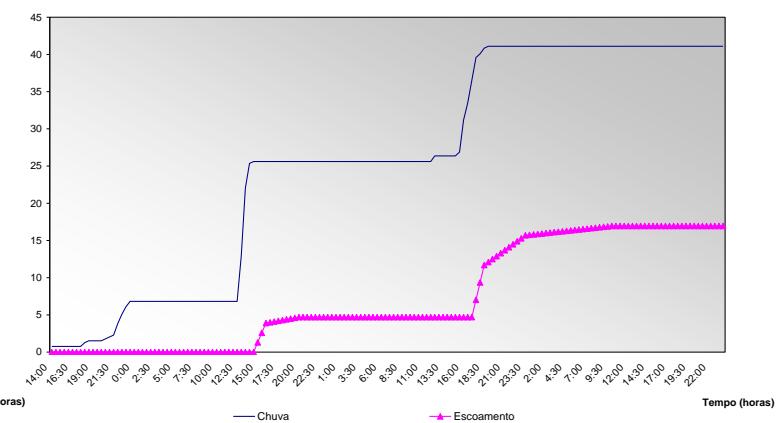
Lamina (mm)

Precipitação x Escoamento (19 a 22 de outubro de 2004)



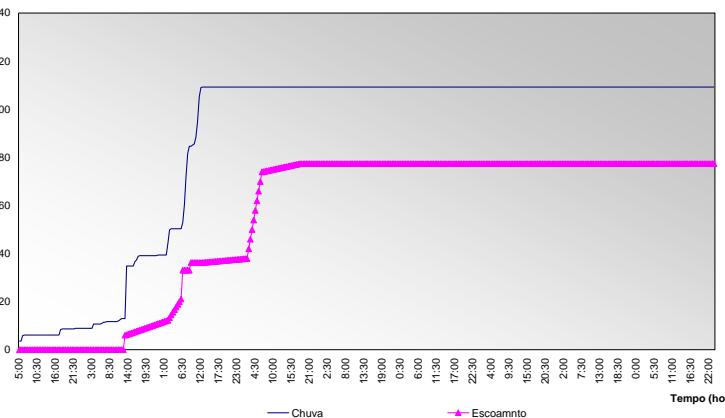
Lamina (mm)

Precipitação x Escoamento (25 a 28 de fevereiro de 2005)



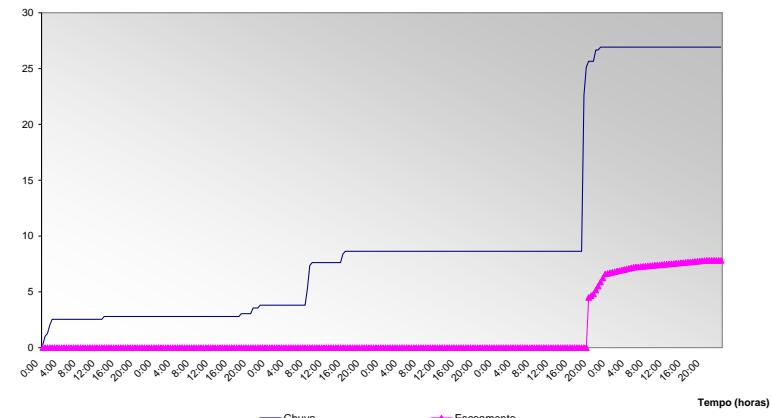
Lamina (mm)

Precipitação x Escoamento (15 a 22 de março de 2005)



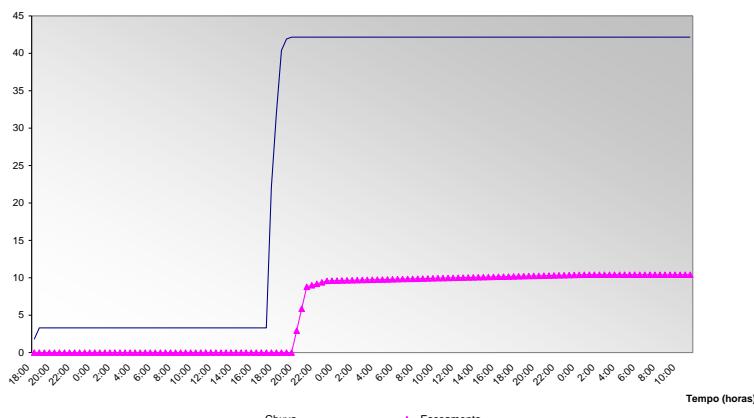
Lamina (mm)

Precipitação x Escoamento (24 a 26 de março de 2005)



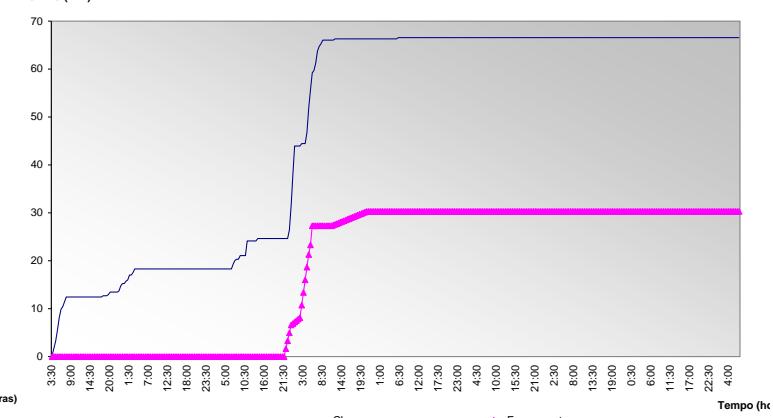
Lamina (mm)

Precipitação x Escoamento (04 a 07 de abril de 2005)

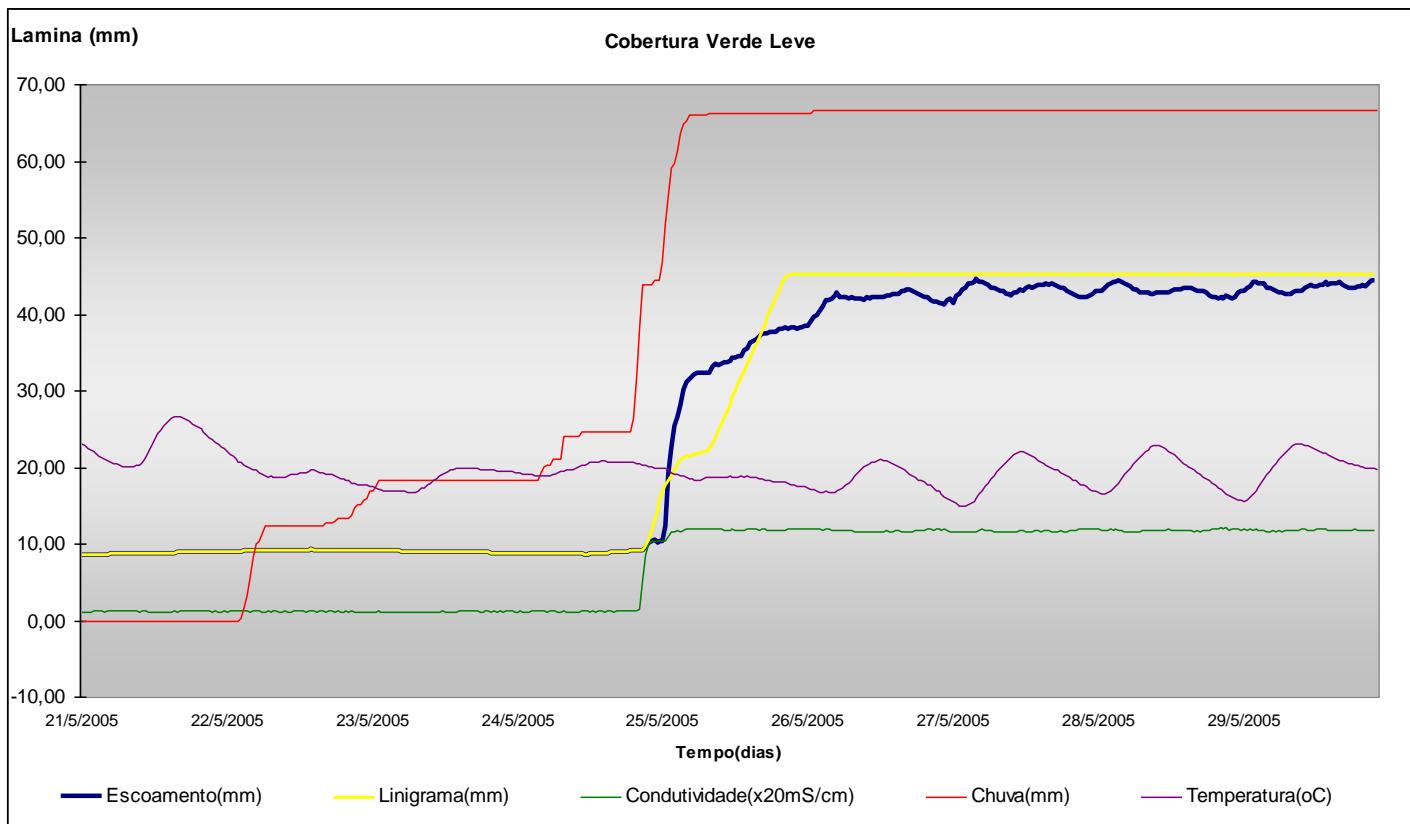


Lamina (mm)

Precipitação x Escoamento (22 a 30 de maio de 2005)



## Análise de qualidade de água pluvial e de escoamento.



**Figura 8\_ Gráficos de Precipitação, Escoamento, Condutividade, e Temperatura, evento ocorrido durante os dias 21/05/05 e 29/05/05.**

## DISCUSSÃO

Pode-se definir a condutividade como a capacidade de uma substância “qualquer” conduzir corrente elétrica. A água pura é considerada uma substância má condutora de corrente elétrica apresentando um valor teórico de 0,5  $\mu\text{mhos}/\text{cm}$  a 25°C.

Ao colocar o aparelho no reservatório nota-se o registro de uma condutividade baixa. Este indicativo ocorre provavelmente por conta da disposição de água “limpa” anterior ao evento de chuva. Após o início da chuva e do armazenamento na caixa, a condutividade aumenta e se mantém estável. Esse resultado demonstra que a água escoada pelo telhado não é totalmente pura devido à presença de nutrientes provenientes da terra e da grama.

Durante o período chuvoso a condutividade elétrica não apresentou variações, mesmo quando na diminuição do nível do reservatório. A temperatura praticamente se manteve estável no decorrer do período com variações de máximas e mínimas não superior a 5°C.

O escoamento gerado nos eventos de junho e julho de 2004, abril e última semana de março de 2005 não ultrapassa o valor de 10mm. O maior escoamento gerado obteve valores próximos a 80mm para o período de 15 a 22 de março de 2005, com chuva

superior a 100mm de volume gerado. Estes valores indicam o volume de água precipitado de chuva e o seu escoamento gerado.

## CONCLUSÃO

A aplicação do telhado verde em áreas urbanas, além de oferecer melhores condições térmicas e ambientais, retarda o escoamento superficial na drenagem. A CVL apresenta uma capacidade de absorção de água pluvial, partindo de um solo seco, de aproximadamente 14mm. Demonstra também ser capaz de absorver ao longo do tempo a água pluvial no instante de maior intensidade. Isto comprova que o uso de teto verde retarda o escoamento das águas pluviais, se comparados com o uso de cobertura tradicional. Comprova-se, portanto a eficácia do sistema instalado de CVL como medida compensatória de combate e prevenção às inundações urbanas.

A partir da análise da condutividade elétrica da água da chuva armazenada no reservatório, conclui-se que sua classificação não se enquadra dentro dos limites estabelecidos para água potável, porém também não é considerada uma água poluída. Garante-se o seu aproveitamento para usos múltiplos não potáveis, como por exemplo, lavagem de calçadas, limpeza de ruas, descarga de vasos sanitários, etc.

## RECOMENDAÇÃO

Recomenda-se para trabalhos futuros: a) avaliar a máxima taxa de infiltração da água de chuva na CVL, determinando consequentemente a máxima intensidade pluviométrica comportada pelo teto verde sem a necessidade de instalar drenos superiores para coleta do escoamento superficial; b) estudar o escoamento de água pluvial para diferentes inclinações ou declividades do telhado; c) analisar a qualidade da água pluvial para determinação do seu respectivo aproveitamento; c) simular diversos cenários para o meio urbano utilizando a CVL como método construtivo para residências, comércios e indústrias, visando comparar a redução do escoamento gerado pela água pluvial no pico de chuva e a sua influência na prevenção de inundações.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao convênio FIPAI-FINEP-CT-HIDRO/EESC-USP/DAEE-SP 01.02.0096.00 de projeto intitulado “Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos”; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil, CNPq, quem consolidou o Grupo de Pesquisa e disponibiliza bolsa de produtividade em pesquisa; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES-Brasil; pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, Processo: 03/06580-7. Os autores agradecem também o programa de bolsas CT-Hidro (nível Doutorado), processo CNPq nº 142535/2004-4.

As discussões organizadas pelo NIBH - Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, que podem ser acessadas através do site: [www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica](http://www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica).

## BIBLIOGRAFIA

ABNT NBR-12190 (NB-279/90). Associação Brasileira de Normas Técnicas. “*Seleção da impermeabilização*”.

ALMEIDA, A .E. F. S.; FERREIRA,O .P. (1999). “*Revestimentos Poliméricos para Proteção à Corrosão Bacteriológica do Concreto*” in: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, Bahia – de 30 de agosto a 03 de setembro de 1999. Anais 2.1.21, pg 140.

CAMPANA, N. A.; EID, N. J. (2001). “*Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*”, ABRH, Porto Alegre, RS, 2001, p. 507-530.

FERREIRA, O. P.; MARCHESONI, F. M. (1998). “*Utilización de compósitos de resina poliuretana de origem vegetal para uso em edificaciones*” in: Jornadas de la Asociación Argentina de Materiales – SAM '98 –“IBEROMET V. Rosario, ARGENTINA, 14 – 18 de setembro de 1998 - p.82, 12-M.7.

FERREIRA, O. P. ; VECCHIA, F. A. S. (2000). “*Impermeabilización de cubiertas de viviendas de interés social*” in I Simpósio Internacional sobre Viviendas de Interés Social, Antigua - Guatemala - de 10 a 14 de abril de 2000.

FERREIRA, O. P.; VECCHIA, F. A. S. (1999). “*Impermeabilização de coberturas e outras construções com a utilização de resina vegetal*” in Simpósio Internacional sobre Cubiertas e Entrepisos, Havana, Cuba – de 12 a 14 de maio de 1999.

FINEP/FIPAI/DAEE-EESC (2003). “*Experimento Piloto de Gerenciamento de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP*”. USP. Escola de Engenharia de São Carlos [www.busplanodiretor.hpg.com.br](http://www.busplanodiretor.hpg.com.br). Projeto GURH.03/2002. CT-HIDRO. Convênio Finep 01.02.0086.00.

GUSMÃO, F.; SCHIMIT, M. (2003). “*Projeto de cooperação internacional entre FH-Neubrandenburg (Alemanha) e CEFET/RJ (Brasil)*”. [www.gruendach-mv.de/drenagem.htm](http://www.gruendach-mv.de/drenagem.htm).

HESPAÑOL, I. (2002). “*Potencial de reúso de água no Brasil, agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, RS, v.7, n.4, p. 75-95.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, ABRH, Porto Alegre, RS, 2001, p. 531-566.

MCT/CGE (2001) – Ministério de Ciência e Tecnologia/ Centro de Estudos e Gestão Estratégica. “*Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasília*”, 2001.

PENNSTATE (2004). Penn State Center for Green Roof Research. Centro de Pesquisa de Telhado Verde PennState. Universidade do Estado da Pennsylvania, EUA. Dados retirados do site: <http://hortweb.cas.psu.edu/research/greenroofcenter/history.html>

PIMENTEL, V. C. (2002). “*Projeto e execução de uma amostrador seqüencial automático de chuva*”. Dissertação de Mestrado Eng. Hidráulica e Saneamento, SHS/EESC/USP, Defendida 15/02/02, 2002.

RAINDROPS, G. (2002). “*Aproveitamento da água de chuva*”. Ed. Organic Trading, Curitiba, PR.

RIGHETTO, A. M. (1998). “*Hidrologia e recursos hídricos*”. EESC-USP, São Carlos, SP, 1998.

SECCHI, A., MAZZÓN, R. (2001). Nuevas contribuciones... in A. Villanueva, J. Goldenfum, A. Silveira “*Soluções para a Drenagem Urbana em Países de América Latina*”, ABRH-IPH, Porto Alegre, RS. , p.144-158.

THE CARDINAL GROUP (2003). *Public Benefits of Green Roofs*. [www.peck.ca/grhcc/public.htm](http://www.peck.ca/grhcc/public.htm) Acessado em 26/05/03.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T.; (1995). “*Drenagem Urbana*”. Ed. Universidade UFRGS, Porto Alegre, RS.

VECCHIA, F.; PELLEGRINO, O. (2002). “*Gestão de Políticas Públicas Voltadas ao Processo de Construção Habitacional e Transferência de Tecnologia*”. FAPESP processo 01/12915-6 (2002).