

COBERTURAS VERDES E A GESTÃO DA ÁGUA PLUVIAL NO LOTE

**Marina Sangoi de Oliveira Ilha⁽¹⁾; Ricardo Prado Abreu Reis⁽²⁾;
Vanessa Gomes da Silva⁽³⁾; Márcia Ibiapina⁽⁴⁾**

(1) FEC – UNICAMP, e-mail: milha@fec.unicamp.br

(2) EEC – UFG / Doutorando FEC, UNICAMP e-mail: rpareis@gmail.com

(3) FEC – UNICAMP, e-mail: vangomes@fec.unicamp.br

(4) Mestranda FEC – UNICAMP, e-mail: marciaibiapina@gmail.com

Resumo

As coberturas verdes têm sido apontadas como importantes estratégias para a gestão das águas pluviais no próprio lote, resultando na redução do volume e da velocidade de escoamento de água pluvial que deságua nas redes de drenagem urbana. Esses sistemas têm, contudo, desempenhos diferenciados em função de suas características construtivas e, caso inadequadamente selecionados, podem contribuir minimamente para este fim. Este estudo tem como objetivo comparar o desempenho quanto à capacidade de retenção de água pluvial de duas coberturas verdes distintas, sendo uma extensiva e outra semi-extensiva. Para tanto, foram analisadas duas células teste construídas na área experimental da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, Campinas – SP. Foram analisados em laboratório parâmetros do substrato como: perfil granulométrico, densidade aparente do solo, porosidade e teor de matéria orgânica. Para a avaliação da capacidade de retenção, as células teste foram instrumentadas com sensores de umidade posicionados no interior do solo, além disto, a intensidade de chuva precipitada em cada evento foi monitorada por um pluviógrafo. Os dados foram avaliados durante três meses do período chuvoso da localidade de estudo a fim de comparar as diferenças entre o desempenho de retenção de cada uma das coberturas. Os resultados obtidos evidenciam que o sistema semi-extensivo apresenta o melhor desempenho de retenção. A comparação entre os perfis de retenção de água de cada cobertura subsidiam a formulação de diretrizes mais criteriosas para a seleção do tipo de cobertura verde a ser instalado quando o objetivo for a retenção de água pluvial.

Palavras-chave: Cobertura verde; gestão de água pluvial; retenção de água pluvial.

Abstract

Green roofs have been considered as important strategies for storm water management in built-up areas and on-lot, resulting in the reduction of the volume and velocity of runoff. However, green roofs have different performances in terms of their constructive characteristics and if they are improperly designed, can only minimally contribute for this purpose. This study aims to compare the rainwater retention of two different green roofs, one a semi-intensive roof and other an extensive one. Both green roofs are installed in test cells constructed in the experimental area of the School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design, UNICAMP, Campinas - SP. Substrate parameters, such as grain-size characteristics, bulk density, porosity and organic matter content were determined in the laboratory. Test cells were instrumented with moisture sensors positioned within the soil; in addition, the rain intensity of each event was monitored by a pluviograph. Data were evaluated over a period of three months of the rainy season. Results indicate semi-extensive roof performed better than the intensive one. The comparison between the profiles of water retention capacity of each cells subsidize formulation of more careful guidelines for selecting the type of green roof to be installed when the objective is the retention of rainwater.

Keywords: Green roof; storm water management; storm water retention.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos impactos ambientais ocasionados pelo processo de urbanização, o uso indiscriminado do solo e a impermeabilização de grandes superfícies traz como efeito imediato o aumento do escoamento superficial de águas pluviais, que contribui para a ocorrência de cheias nas cidades.

As coberturas verdes têm sido apontadas como importantes estratégias de drenagem na fonte, as quais têm como um dos principais objetivos, a gestão das águas pluviais no próprio lote. Além de proporcionar melhorias no conforto térmico e acústico das edificações, Mary et al. (2008) destacam o potencial das coberturas verdes como solução complementar de drenagem predial na redução do volume e da velocidade de escoamento de água pluvial que deságua nas redes de drenagem urbana.

O escoamento superficial gerado pela passagem da água pluvial por uma cobertura verde, quando comparado com uma cobertura impermeável convencional, sofre uma atenuação (redução da vazão de pico) e um retardo, pois parte do volume de água precipitado é retido na cobertura verde (BERNDTSSON, 2010).

Vários são os fatores citados na literatura que podem influenciar a capacidade de retenção de água pluvial por uma cobertura verde: quantidade de camadas e tipos de materiais empregados, espessura da camada de solo (substrato), tipo de solo, condições de umidade do solo antes da chuva, tipo de vegetação, área de cobrimento da vegetação, inclinação e idade da cobertura (DVORAK, 2011; GETTER *et al*, 2007; MENTENS *et al*, 2006; ROWE, 2010; VANWOERT *et al*, 2005; VILLAREAL e BENGTTSSON, 2005).

Luckett (2009), cita como materiais que podem ser utilizados para proporcionar maior ou menor retenção de água nas coberturas verdes: alguns tipos de mantas geotexteis, gel condicionados em pacotes, mistura de substrato com composição de partículas adequadas, tapete com orifícios de armazenamento, “caixas de ovos”, filtros não tecidos, entre outros. O principal intuito de manter o solo úmido é preservar a capacidade de desenvolvimento das plantas, entretanto, a capacidade de retenção de água na cobertura verde pode ser estudada como uma forma complementar de sistema de drenagem de água pluvial.

São diversos os fatores que podem afetar o desempenho do substrato das coberturas verdes na retenção de água: composição do solo, granulometria, teor de matéria orgânica, porosidade, espessura da camada, grau de compactação, teor de umidade, além de como o solo é condicionado no decorrer de sua vida útil.

Woods *et al*. (2008) comparou a retenção de coberturas verdes com substratos com diferentes espessuras: 5, 10, 15 e 20 cm e vegetadas com *sedum*. Durante os 18 meses da pesquisa, as células de 15 cm apresentaram o melhor desempenho e retiveram cerca de 86,8% do volume precipitado.

Estes estudos demonstram que aspectos construtivos, como por exemplo a espessura do substrato, podem ser relevantes para a determinação do desempenho de uma cobertura verde quando se trata da concepção de um sistema de drenagem na fonte. Assim, visando comparar os efeitos de diferentes aspectos construtivos no funcionamento de coberturas verdes, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar o desempenho de retenção de água em duas células teste executadas com diferentes especificações construtivas, focando na determinação do volume retido no substrato por meio do monitoramento da oscilação de seu teor de umidade durante eventos de chuva.

2. MATERIAL E MÉTODO

A metodologia utilizada no desenvolvimento desta pesquisa contemplou a investigação quanto ao desempenho de retenção de água de chuva de duas coberturas verdes executadas exclusivamente com a finalidade experimental de forma a simular o sistema construtivo de coberturas verdes reais. As coberturas experimentais, aqui identificadas como célula teste X e célula teste Y, foram executadas em uma área de pesquisas da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo - FEC da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP em Campinas - SP. O estudo apresentado nesse artigo está inserido em uma pesquisa que contempla também a avaliação do desempenho térmico das coberturas verdes (SILVA, 2012).

As células teste foram executadas em blocos de concreto com dimensões de 2,76x2,76m até uma altura de aproximadamente 3,15m com área de cobertura verde de 6,05m², conforme mostra a Figura 1. Cada célula teste tem uma laje com declividade de 2%, impermeabilizada com pintura betuminosa.

Para a realização deste estudo foram comparados o desempenho de retenção de água no solo de duas células teste. Uma das coberturas: **Célula teste X** é classificada como extensiva, possui 10cm de espessura do substrato e vegetação rasteira do tipo *Zoysia japonica* (grama esmeralda), a outra: **Célula teste Y** (Figura 1) é classificada com semi-extensiva, possui substrato com 25cm de espessura e vegetação do tipo *Arachis repens* (grama amendoim), *Evolvulus glomeratus* (evolvulus) e *Lantana undulata* (Lantana branca). Ambos os sistemas possuem vegetação nativa e composição similar de substrato e foram executados de forma contínua (não modular), ou seja, camada de substrato lançada diretamente acima de uma única camada de geotêxtil do tipo MacDrain[®] posicionada acima da laje impermeabilizada.

Para a comparação do desempenho de retenção de água de chuva no solo das duas células teste foram levados em consideração parâmetros tais como: perfil granulométrico do solo, densidade aparente do solo, porosidade, índices de vazios, teor de matéria orgânica, além da intensidade pluviométrica e volume drenado. Para tanto, o substrato utilizado nas células teste teve alguns de seus parâmetros físico-químicos caracterizados em laboratório.



Figura 1 – Célula Teste Y: estrutura do experimento e detalhe da vegetação da cobertura verde.

A capacidade de retenção de água foi monitorada em campo por meio de sensores de umidade volumétricos do solo, modelo CS616 WCR da Campbell Scientific[®], posicionados no centro de cada uma das células teste, conforme mostra a Figura 2-A, e de pluviógrafos, modelos TE525WS, também da Campbell, interligados a jusante dos drenos de cada cobertura, Figura 2-B. Além disto, para possibilitar a comparação do desempenho, o volume de chuva precipitado em cada evento, ou seja, as intensidades das chuvas foram monitoradas por outro pluviômetro, posicionado na mesma área de estudo das coberturas, Figura 2-B.

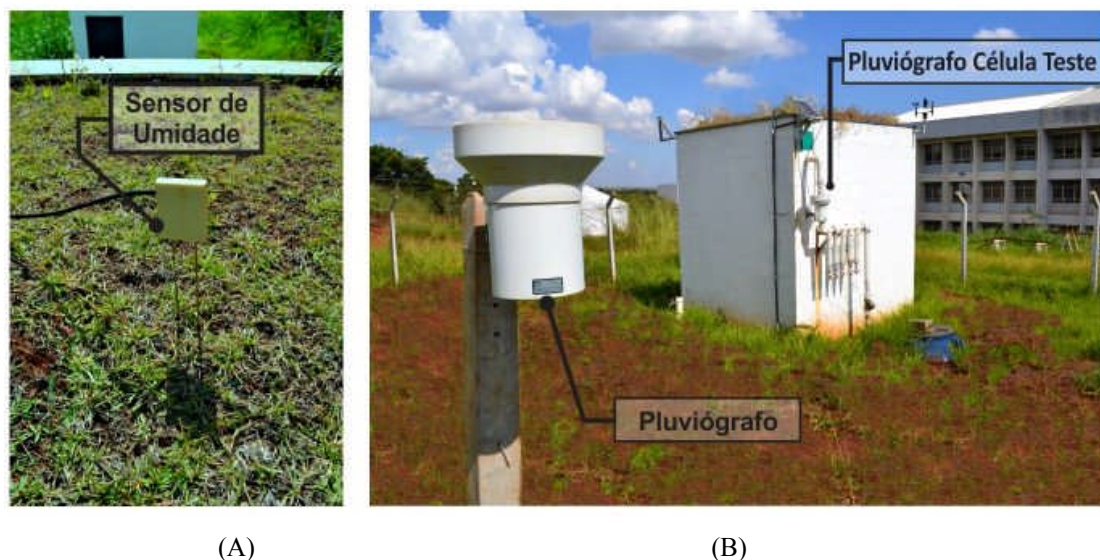


Figura 2 – Instrumentação de monitoramento das células teste: (A) sensor de umidade CS616 Campbell, posicionado no centro da célula teste X e (B) pluviômetros para monitoramento dos eventos de chuva e escoamentos gerados nas células teste.

Os dados foram levantados durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2011, intervalo que representa os três meses com eventos mais frequentes do período chuvoso na cidade de Campinas. Os eventos de chuva foram definidos considerando-se eventos isolados separados por até 6 horas, conforme VanWoert *et al.* (2005). A partir disso, foram contabilizados 46 eventos de chuva no referido período.

Durante cada um destes eventos foi monitorada a oscilação do teor de umidade do substrato de cada célula teste a fim de possibilitar a mensuração da capacidade de retenção da água em cada uma delas e, assim, ser possível comparar as diferenças entre o desempenho de retenção de água no solo das mesmas. Para a determinação do volume de água retido em cada célula teste, considerou-se o teor de umidade máxima registrada no substrato ao final do evento de chuva e, utilizou-se a Equação 1 para determinar o volume de água retido nas células.

$$\theta = \frac{V_w}{V_s} \quad \therefore \quad V_w = \theta \cdot V_s \quad [\text{Eq. 1}]$$

Em que:

- Θ: Teor de umidade volumétrica;
- V_w: Volume de água retida no solo;
- V_s: Volume total da célula teste.

A avaliação do teor de umidade foi realizada observando-se o menor valor registrado imediatamente antes do início da chuva e o maior valor atingido durante o evento chuvoso. É importante ressaltar que em nenhum momento do estudo houve irrigação ou manutenção das

células teste. Esta premissa foi adotada a fim de avaliar o atendimento aos requisitos da certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) no que se refere a áreas verdes, mencionados nas seções SSc5.1- Proteção ou restauração de habitats, SSc5.2 – maximização de espaço aberto vegetado, além do atendimento ao critério SSc2 – Densidade de desenvolvimento e conectividade à comunidade do entorno (USGBC, 2009).

Além do monitoramento em campo, o substrato das duas células teste foi caracterizado segundo sua composição granulométrica (NBR 7181/84), índices físicos (Terzaghi, Peck e Mesri, 1996) e teor de matéria orgânica pelo método dos extratores. Estes parâmetros foram levantados a fim de verificar a existência de alguma influência com relação a capacidade de retenção das células teste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos parâmetros físico-químicos dos substratos das células teste X e Y, mostrados na Tabela 1, demonstra que os mesmos são bastante semelhantes. Desta forma, não foi possível estabelecer nenhuma correlação que as diferenciasssem em termos de desempenho de retenção de água de chuva devido a algum dos parâmetros aqui analisados.

Célula Teste	Massa específica dos sólidos (g/cm ³)	Densidade aparente (<i>Bulk Density</i>) (g/cm ³)	Porosidade (%)	Índice de vazios (%)	Teor de Matéria Orgânica (%)
X	2,506	1,027	59,001	1,444	4,60
Y	2,553	1,022	59,977	1,502	3,30

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos dos substratos que compõem as células teste X e Y.

Segundo Nagase e Dunnett (2011), o teor de matéria orgânica no solo das coberturas verdes é necessário para a manutenção do desenvolvimento das plantas durante os períodos de seca e chuvoso. Sabe-se também que quanto maior o teor de matéria orgânica, maior é a capacidade de retenção do solo. Apesar disto, a pequena diferença entre as porcentagens de matéria orgânica encontradas na composição dos substratos das células X e Y não foi suficiente para demonstrar um maior desempenho de retenção de água de chuva da célula 1.

A análise granulométrica dos substratos das células teste, mostrada pela Figura 3, também evidenciou pouca diferenciação entre a composição dos substratos utilizados nas coberturas. Por meio do gráfico da Figura 3 é possível observar que a célula Y possui uma parcela maior de areia enquanto que a célula X possui uma parcela um pouco maior de argila.

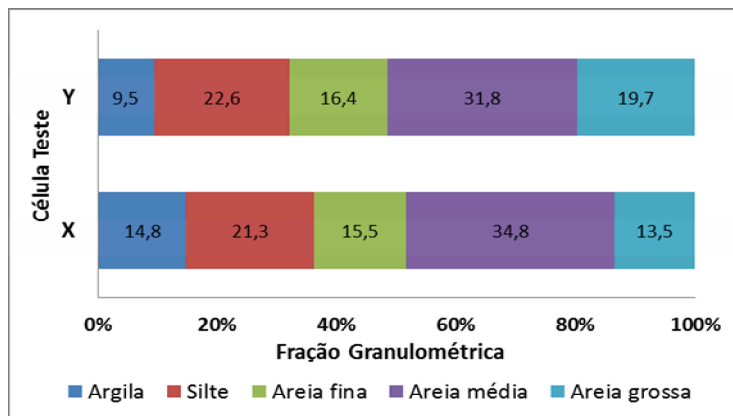


Figura 3 – Fração granulométrica do solo das células teste X e Y.

Apesar da célula teste X apresentar um teor de 5,3% maior de argila que a célula Y, fração do solo que possui maior capacidade de retenção de água, supõe-se que esta parcela não foi suficiente para compensar a maior espessura do solo do substrato da célula teste Y.

Por fim, os teores de umidade registrados ao final de cada evento de chuva foram convertidos em volume retido no substrato, por meio da Equação 1, apresentada anteriormente. Os gráficos das Figuras 4 e 5 mostram o volume retido em cada célula teste em cada um dos 46 eventos de chuva observados. Os gráficos apresentam também os teores máximos e mínimos de umidade registrados durante cada evento de chuva.

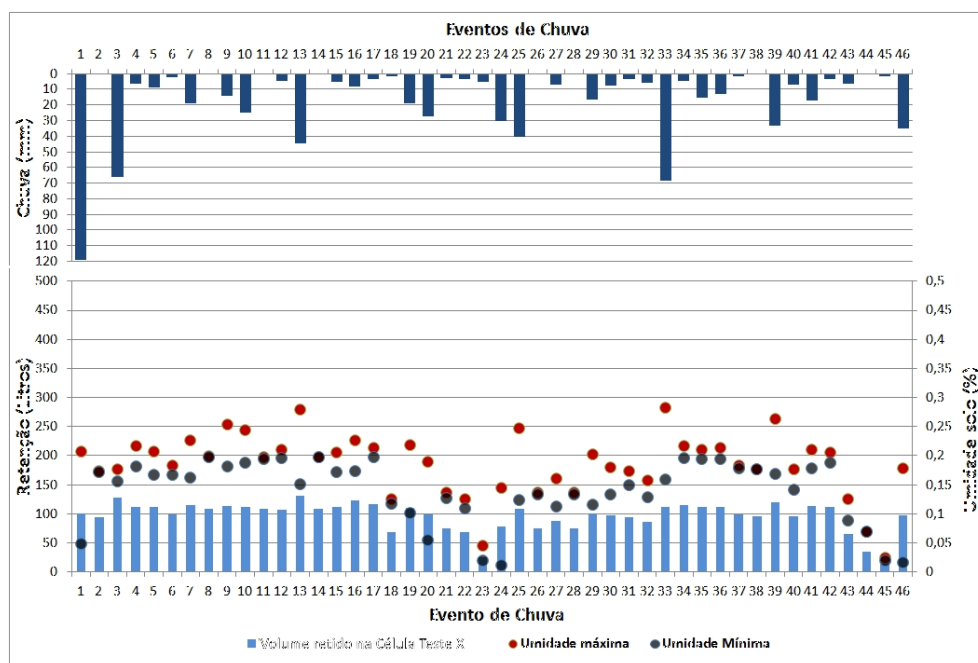


Figura 4 – Altura em mm dos 46 eventos de chuva avaliados, capacidade de retenção da célula teste X e teores de umidade máxima e mínima registrados em porcentagem entre o início e o final do evento de chuva.

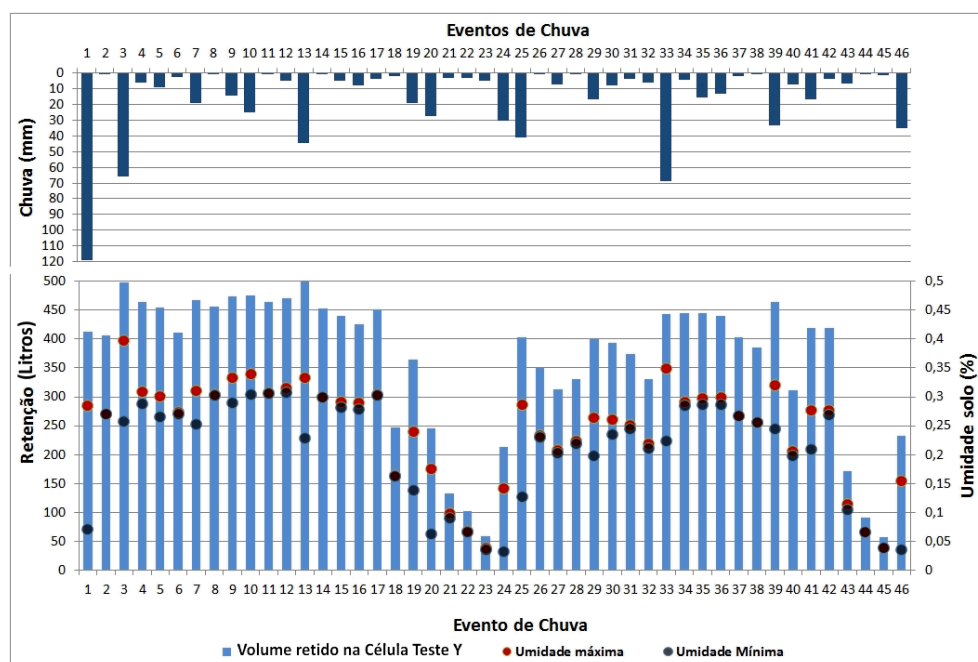


Figura 5 – Altura em mm dos 46 eventos de chuva avaliados, capacidade de retenção da célula teste Y e teores de umidade máxima e mínima registrados em porcentagem entre o início e o final do evento de chuva.

Comparando-se os gráficos das Figuras 4 e 5 é possível observar a maior capacidade de retenção de água na célula teste Y para os mesmos eventos de chuva. Para os dados monitorados, a maior espessura de substrato da célula teste Y, associada aos maiores valores de umidade do solo, resultaram em um desempenho de retenção bem mais elevado que o da célula teste X.

Outro fenômeno que foi possível observar em ambas as células, foi que os registros de teores máximos de umidade normalmente coincidem com os eventos de grande intensidade, o que pode indicar um acúmulo de água acima do substrato da cobertura verde pressupondo que a intensidade de precipitação da chuva é superior a capacidade de percolação do substrato. A célula teste Y ainda indica limites dos teores máximos de umidade mais elevados que os da célula teste X, mostrando que ela foi capaz de reter um maior volume de água de chuva.

Independente da maior capacidade de retenção da célula teste Y, isto pode indicar que durante as chuvas intensas, mesmo acima da capacidade de retenção do solo as coberturas verdes podem funcionar auxiliando na redução do pico de vazão de escoamento.

Em eventos de chuva de grande intensidade precedidos de dias sem chuva as células apresentaram um aumento na capacidade de retenção proporcional à redução do teor de umidade. Durante eventos consecutivos, onde o teor de umidade já se encontrava elevado, a capacidade de retenção apresentou-se reduzida.

4. CONCLUSÕES

Coberturas verdes podem ser aplicadas com a finalidade de promover diversas melhorias no desempenho de edificações: térmico, acústico, ampliação de áreas de convívio, controle de escoamento superficial. A fim de potencializar o desempenho de suas propriedades, os aspectos construtivos são fatores importantes que atribuem diferentes condições de funcionamento para as coberturas verdes, que podem proporcionar melhorias nos aspectos operacionais dependendo das condições adotadas.

No caso das coberturas estudadas neste trabalho, pequenas alterações na composição e na granulometria do substrato não foram suficientes para proporcionar à cobertura de menor espessura um melhor desempenho de retenção. Assim, neste caso, a espessura do substrato demonstrou ser um dos parâmetros construtivos que proporcionou melhor desempenho de retenção de água de chuva na cobertura.

Entretanto, nem sempre a maior espessura significa uma maior capacidade de retenção, pois a correlação entre o teor de umidade do substrato e capacidade de retenção dependem de uma série de outros parâmetros de grande variabilidade, tais como: granulometria e composição do solo, forma como o solo ou substrato foi disposto, aditivos adicionado ao substrato (adubo, fertilizantes), condições externas (temperatura, umidade do ar, vegetação, compactação).

Sendo assim, é importante ressaltar que apesar do estudo aqui apresentado mostrar uma tendência de maior capacidade de retenção de água de chuva pela célula teste de maior espessura de substrato, deve-se levar em conta as limitações quanto ao número de amostras avaliadas e, também, a quantidade de parâmetros inter-relacionadas, de tal forma que as conclusões não devem ser extrapoladas para outras regiões sem estudos mais aprofundados e consolidados.

Há que se considerar, por fim, a diferença da carga introduzida sobre a estrutura com a utilização de coberturas de substratos de maior espessura. A título de ilustração, considerando-se a massa específica saturada, tem-se aproximadamente 163 Kg/m^2 para a cobertura X e 408 Kg/m^2 para a cobertura Y.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Análise Granulométrica: procedimento. **NBR 7181**. Rio de Janeiro. 1984. 13p.
- BERNDTSSON, J. C. Green Roof Performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. **Ecological Engineering**, 36 (2010) 351-360.
- DVORAK, B. Comparative analysis of Green roof guidelines and Standards in Europe and North America. **Journal of Green Building**. Spring, v6, n. 2, 170-191. 2011.
- GETTER, K. L.; ROWE, D. B.; ANDRESEN, J. A. Quantify the effect of slope on extensive green roof stormwater retention, **Ecological Engineering** 31(2007) 225-231.
- LUCKETT, K. **Green Roof Construction and Maintenance**. McGraw-Hill and ICC – International Code Concil. 1ªEd. New York. 2009. 195p.
- MARY, W.; SILVA, L. P.; MORAES, M. F.; ARRUDA, J.; WATSON E.; FERRARI, ANDERSON C.; ROSSAFA, B.; PINTO, G. B. **TELHADOS VERDES: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social**. 9º Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil – ENEPEA – Curitiba, Paraná - 2008.
- MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem urbanized 21st century?, **Landscape and Urban Planning** 77(2006) 217-226.
- NAGASE, A.; DUNNETT, N. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. **Landscape and Urban Planning**. 103 (2011). 203-236.
- ROWE, D. B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environmental Pollution** (2010) 1-11.
- SILVA, V.G. **Avaliação da contribuição de coberturas verdes no desempenho térmico e controle de escoamento superficial de água pluvial**. Relatório final de auxílio a pesquisa regular. Processo # 2008/01818-9. Abril 2012. (circulação restrita)
- TERZAGHI, K; PECK, R. B.; MESRI G. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. John Wiley & Sons, Inc. 3rd ed. New York. 1996. 549p.
- USGBC. **LEED – Leadership in Energy and Environmental Design for new construction and major renovation**. v. 2.2. 2009.
- VANWOERT, N. D. et. al. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. **Journal of Environmental Quality** 34 (2005) 1036-1043.
- VILLAREAL, E. L.; BENGTTSSON, L. Response of a Sedum Green-roof to individual rain events. **Ecological Engineering** 25(2005) 1-7.
- WOODS, E.; JOST, V.; LUCKETT K. e RETZLAFF, W. **Evaluation of Storm Water Runoff Quantity from a Green Roof System**. Green Roof for Health Cities. Southern Illinois University Edwardsville. Edwardsville – Illinois. 2008.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a profa. Dra. Miriam Gonçalves Miguel pelo auxílio na análise dos dados e a FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro.