

TELHADOS VERDES NA DRENAGEM URBANA: COMPOSIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E DESEMPENHO HIDROLÓGICO.

Bhárbara Ladeira⁽¹⁾; Talita Silva⁽¹⁾; Mateus M. Nogueira⁽¹⁾; Priscilla M. Moura⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal de Minas Gerais

bharbaralad@gmail.com; talita.silva@ehr.ufmg.br; mateusmn13@gmail.com; priscilla.moura@ehr.ufmg.br

RESUMO

Com o advento da urbanização e o consequente impacto sobre os espaços verdes, o ciclo hidrológico é afetado negativamente. Alternativas eco-amigáveis buscam, de forma estrutural e não-estrutural, amenizar tais impactos. Este trabalho tem por objetivo revisar as publicações nacionais e internacionais, realizadas nos últimos dez anos sobre telhados verdes e identificar conhecimentos já consolidados e questões ainda não solucionadas referentes à composição, implantação e desempenho hidrológico dos telhados verdes.

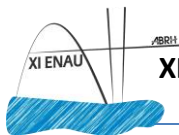
Palavras-chave: Área urbanas consolidadas; Sustainable Urban Drainage Systems; Técnicas Compensatórias

INTRODUÇÃO

Abordagens alternativas em drenagem urbana vêm sendo tomadas na tentativa de fazer com que o ciclo hidrológico de uma região urbanizada se aproxime o máximo possível de suas condições antes da urbanização. Segundo Souza *et al.* (2012) a partir da valorização e reconhecimento dos sistemas naturais de drenagem, principalmente no que se refere ao controle da qualidade e quantidade propiciado pela evapotranspiração e infiltração, novas abordagens em drenagem urbana foram se consolidando ao redor do mundo em uma tentativa de “compensar” os impactos resultantes da urbanização.

Dentre as técnicas compensatórias mais estudadas e empregadas nos últimos anos, os telhados verdes apresentam grande potencial para implantação em áreas urbanas, especialmente aquelas já consolidadas, uma vez que aproveitam a área dos telhados das edificações (que podem ou não já estarem construídas) e não demandam novas áreas nos terrenos, evitando concorrência com outros usos do solo (CIPOLLA *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2011). Além disso, ao contrário das técnicas que preconizam a infiltração da água de chuva no solo, a implantação dos telhados verdes não é limitada em função das características físicas locais, tais quais, condutividade hidráulica do solo e profundidade do lençol freático.

Diversos benefícios decorrentes da instalação de telhados verdes em edificações vêm sendo reportados em estudos científicos: atenuação da vazão de pico e do volume do escoamento superficial (MENTENS *et al.*, 2006; VOYDE *et al.*, 2010), redução das temperaturas do ar e melhoria da qualidade do ar urbano (FENG *et al.* 2010), contribuição na remoção de poluentes das águas pluviais urbanas (BERNDTSSON *et al.*, 2006; BERNDTSSON *et al.*, 2010; RAZZAGHMANESH *et al.*, 2014b), redução do ruído em ambientes urbanos (DUNNETT e KINGSBURY, 2004) e atenuação dos efeitos das ilhas de calor urbano (WONG *et al.* 2003, CASTLETON *et al.*, 2010, COUTTS *et al.*, 2013). Os telhados verdes também contribuem para o aumento da biodiversidade em meio urbano e propiciam a criação



de habitat para plantas e animais (VIJAYARAGHAVAN *et al.*, 2012; EMILSSON *et al.*, 2007). Além dos benefícios hidrológicos e ambientais, os telhados verdes podem contribuir para a valorização econômica das edificações em que são implantados (NAGASE e DUNNETT, 2010) porque possuem potencial para reduzir o consumo de energia (WONG *et al.*, 2003, ALEXANDRI e JONES, 2008) e fornecem valor de amenidade e estético (RAZZAGHMANESH *et al.*, 2012; FERNANDEZ-CAÑERO *et al.*, 2013).

Recentemente, os telhados verdes têm recebido um reconhecimento crescente em muitos países, como os EUA, Japão e países europeus (VIJAYARAGHAVAN *et al.*, 2012; BERNDTSSON *et al.*, 2008; MENTENS *et al.*, 2006). No Brasil, é importante observar que apesar do crescente interesse de profissionais e usuários por este tipo de cobertura, não existe uma tradição técnica construtiva e há ainda uma certa carência de informações na literatura nacional sobre o assunto (KREBS; SATTTLER, 2010). Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo identificar, por meio de pesquisa bibliográfica, conhecimentos já consolidados a respeito da composição, implantação e desempenho hidrológico dos telhados verdes, assim como levantar questões ainda não solucionadas sobre essa temática.

METODOLOGIA

Este é um estudo de revisão sistemática descritiva, com levantamento bibliográfico no portal de periódicos CAPES. Inicialmente realizou-se uma primeira consulta ao portal de periódicos CAPES com o objetivo de verificar a representatividade dos estudos científicos sobre telhados verdes em relação às demais técnicas compensatórias em drenagem urbana. As palavras-chave utilizadas na busca foram: Green Roofs (Telhado Verde), Vegetative Swales (Valas de Infiltração), Infiltration Trenches (Trincheiras de Infiltração), Permeable Pavement (Pavimentos Permeáveis) e Infiltration Wells (Poços de Infiltração). Restringiu-se a data de publicação dos trabalhos pesquisados aos últimos dez anos, ou seja, de 2007 até o presente momento. O material bibliográfico pesquisado foram os artigos revisados por pares, em qualquer idioma. Na busca bibliográfica foi utilizada também como filtro a palavra Runoff (Escoamento Superficial), sendo que a disciplina priorizada foi Engenharia.

Em seguida, realizou-se uma busca bibliográfica apenas com a palavra-chave Green Roofs (Telhados Verdes) para verificar o número anual de publicações sobre o tema de 2007 até o presente momento. Mais uma vez foram pesquisados apenas artigos revisados por pares, em qualquer idioma e utilizando-se a palavra Runoff (Escoamento Superficial) como filtro. Por fim, os artigos encontrados nas buscas bibliográficas realizadas foram consultados em relação às questões referentes à implantação, manutenção e desempenho dos telhados verdes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura .a apresenta, por tipo de técnica compensatória, o número de artigos publicados nos últimos dez anos. Observa-se, analisando os dados da Figura .a, que os artigos mais publicados lidam com a técnica intitulada poços de infiltração: foram encontrados 4551 artigos dentro desta temática. A segunda técnica em destaque corresponde aos telhados verdes, que também apresentam um número relevante de publicações nos últimos dez anos, totalizando 1381 artigos. Em seguida, as trincheiras de infiltração com 876 artigos, os pavimentos permeáveis com 646 e, por fim, as valas de infiltração com 240 artigos. O

resultado da busca realizada comprova a relevância dos telhados verdes em relação a outras técnicas compensatórias quando considerados os estudos científicos.

A Figura 1.b apresenta o número de publicações anuais relacionadas a telhados verdes. A partir da análise do gráfico da Figura 1.b observa-se que o número de publicações sobre telhados verdes por ano, nos últimos dez anos, foi crescente. No ano de 2017, até o mês de abril, foram publicados 11 artigos.

Figura 1.a

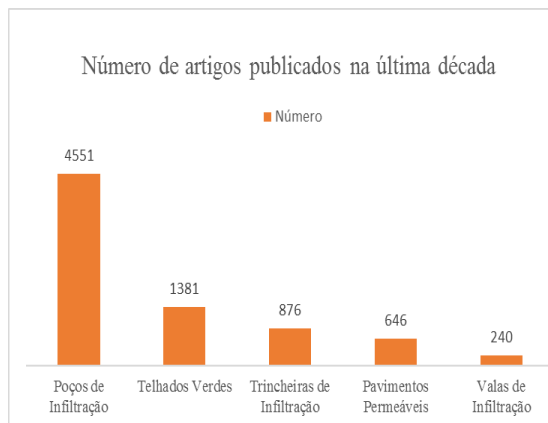


Figura 1.b

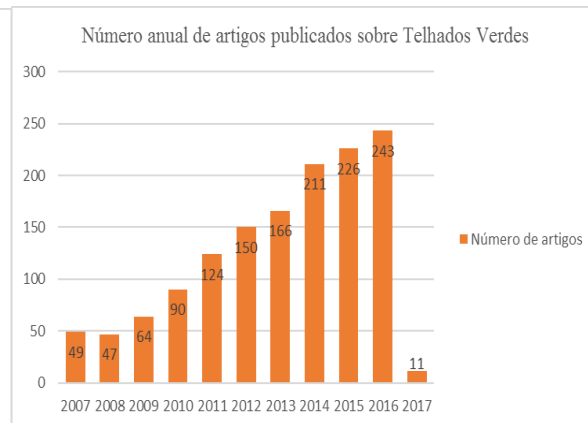
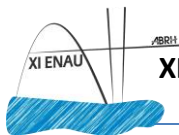


Figura 1: a - Número de artigos científicos por técnica compensatória em drenagem urbana, de 2007 a abril de 2017, revisados por pares; b - Número de artigos científicos publicados anualmente sobre telhados verdes, de 2007 a abril de 2017, revisados por pares.

Composição dos Telhados Verdes: O sistema mais comumente usado no mundo é aplicado diretamente na superfície de suporte, obedecendo à seguinte ordem das principais camadas, de baixo para cima: camada impermeabilizante, camada de drenagem, substrato e vegetação. Como camada secundária tem-se o Geotêxtil, o qual serve como protetor da camada impermeabilizante contra a ação mecânica da camada de drenagem e como filtro das partículas mais finas do substrato de drenagem, evitando assim o entupimento desta (ROLA, 2008).

A superfície de suporte é toda aquela que suporta o peso do sistema adotado, que chega ao seu máximo quando hidratado (ROLA, 2008). Pode ser de madeira, bambu, metal ou concreto armado desde que seja adequadamente impermeabilizada e que resista às cargas geradas pela cobertura escolhida. É importante ressaltar que a carga deve ser calculada considerando o peso das plantas adultas (FERRAZ e LEITE, 2011). A tipologia construtiva adotada no Brasil para edifícios multi-pavimentados é a da laje de concreto, capaz, em média, de suportar um sobrepeso de até 400 kg/m² (ROLA, 2008).

A camada impermeabilizante deve ter alta resistência à perfuração, para evitar o transpasse de possíveis raízes. No mercado existem dois tipos de impermeabilizantes, o PVC e a manta asfáltica (ROLA, 2008). A camada de drenagem deve ser de origem mineral, com a menor massa específica possível e de diâmetro inferior a 10 mm. Preferencialmente, a camada de drenagem deve ser porosa e de canto rolado (arredondado) para que não ofereça riscos de perfuração à membrana impermeabilizante (ROLA, 2008). Um exemplo de material utilizável



é a argila expandida. A camada de drenagem pode ter funções adicionais, como armazenamento de água para uso na estiagem, aumento da área de raízes e espaço para aeração do sistema (FERRAZ e LEITE, 2011). O substrato de suporte da vida vegetal é composto por uma mistura de elementos orgânicos e inorgânicos capazes de manter os nutrientes, umidade e oxigenação durante um período de tempo economicamente viável (ROLA, 2008).

Poucos estudos analisaram o papel das camadas constituintes dos telhados verdes nos benefícios oferecidos pelos mesmos, sendo seu impacto ainda pouco compreendido (Nagase e Dunnett, 2011; Pérez *et al.*, 2012; Vijayaraghavan *et al.*, 2012).

Classificação dos Telhados Verdes: Os telhados verdes podem ser classificados de acordo com Krebs e Sattler (2010) em função da espessura da camada de substrato, dos tipos de plantas utilizados e da necessidade de manutenção:

- Intensiva: carga superficial de 700 kg/m² a 1.200 kg/m²; espessura vegetal superior a 250 cm; espessura do substrato maior que 20 cm; tipo de vegetação é arbóreo; a manutenção é intensa; a irrigação é regular e elevado custo de investimento e manutenção.
- Semi-Intensiva: carga superficial de 100 kg/m² a 700 kg/m²; espessura vegetal entre 5 cm e 100 cm; espessura do substrato entre 10 cm e 20 cm; tipo de vegetação é arbustivo; manutenção média; irrigação periódica e custo médio de investimento e manutenção.
- Extensiva: carga superficial até 100 kg/m²; espessura vegetal entre 5 cm e 15 cm; espessura do substrato até 10 cm; tipo de vegetação é herbáceo extensivo; manutenção baixa ou nenhuma; irrigação nenhuma e baixos custos de investimento e manutenção.

Os telhados verdes também podem ser classificados segundo a inclinação do telhado em planos, de inclinação moderada e de inclinação acentuada. No caso dos planos, a inclinação é de até 5%, sendo de execução demorada porque necessita de uma drenagem especial através de uma manta para conduzir o excedente de água acumulada. Os telhados de inclinação moderada, possuem inclinação variando de 5% até 35%, são de fácil execução e mais econômicos. Não necessitam de camada drenante, o substrato tanto armazena como conduz o excedente e para isso, deve-se empregar material poroso, como pedras pome, escória ou argila expandida. Finalmente, os telhados de inclinação acentuada, com inclinação de 36% até 84%, assemelham-se com os telhados de inclinação moderada, porém devem possuir barreiras que evitem o deslizamento do substrato (MINKE, 2004 *apud* VERGARA *et al.*, 2009).

Desempenho dos Telhados Verdes: A literatura possui muitos relatos sobre o desempenho hidrológico telhados verdes, tanto em escala reduzida, como em tamanho real (PALLA, 2010 e STOVIN, 2012). A capacidade de armazenamento dos telhados verdes é bastante variável, podendo atingir valores entre 25 e 93% do volume de chuvas (MANDER, 2007; ROBERTSON *et al.*, 2005). Essa variabilidade se dá principalmente em função das taxas de evapotranspiração, do regime pluviométrico e de características do telhado verde, tais quais

espessura das camadas constituintes e inclinação do telhado (FERREIRA e MORUZZI, 2007; IBIAPINA *et al.*, 2010).

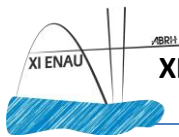
Taxas de evapotranspiração mais elevadas implicam em maior quantidade de água retida no sistema substrato-vegetação e dessa forma, a capacidade de retenção dos telhados verdes varia em função do clima local e da estação do ano (KÖHLER *et al.*, 2001; MENTES, 2005). Diversos estudos já realizados sobre telhados verdes focaram nos mecanismos de transferência de calor por evaporação e radiação em função de características dos telhados (AYATA *et al.*, 2011; TABARES-VELASCO e SREBRIC, 2009). Por outro lado, a capacidade de armazenamento dos telhados verdes é reduzida no caso de precipitações mais intensas e ocorrência de eventos chuvosos em sequência que afetam as condições de umidade do solo (ROBERTSON *et al.*, 2005; IBIAPINA *et al.*, 2010).

Por fim, em relação às características construtivas dos telhados, quanto mais espessa a camada de substrato e quanto maior o porte da vegetação em coberturas verdes, maior é a capacidade de retenção do sistema, uma vez que a interceptação vegetal, o armazenamento e a absorção de água pelo solo são maiores (MENTENS, 2005). A inclinação do telhado também exerce um papel importante na capacidade de armazenamento de telhados verdes. De acordo com Ibiapina *et al.* (2010), para o caso de precipitações superiores a 10 mm, a capacidade de retenção do telhados verdes pode variar entre 71,4% (telhados com inclinação de 2%) e 57,1% (telhados com inclinação de 25%).

Embora as diferenças devido à configuração dos telhados verdes e ao clima local tenham sido consideradas em alguma profundidade nos diversos estudos já realizados, há muito pouca discussão e compreensão a respeito da variação temporal a longo prazo do desempenho hidrológico do telhado verde, tanto em relação à retenção como à detenção.

O desempenho dos telhados verdes em relação à qualidade da água ainda é relativamente desconhecido. Embora vários pesquisadores tenham se preocupado em analisar a qualidade da água na saída dos telhados verdes (Steusloff, 1998; Köhler *et al.*, 2002; Berndtsson *et al.*, 2006; Emilsson *et al.*, 2006; Teemusk e Mander, 2007; Berndtsson *et al.*, 2009; Berndtsson, 2010), os estudos utilizam diferentes métodos de coleta e apresentação de dados que dificultam a comparação dos resultados. Berndtsson (2010) concluiu que os fatores que são eficazes para melhorar a qualidade da água das saídas de telhados verdes incluem o tipo de meio de cultivo ou substrato (composição do solo), a profundidade dos meios de cultivo, o tipo de vegetação, os padrões de chuvas locais, e as propriedades físico-químicas dos poluentes. No entanto, ainda hoje não é possível afirmar se os telhados verdes atuam como fonte ou retém poluentes (Teemusk e Mander, 2007, Carpenter e Kaluvakolanu, 2011; Fassman e Simcock, 2013).

Conclusões: Os telhados verdes têm recebido um grande interesse nos últimos anos por parte de gestores públicos, técnicos, da sociedade em geral e, particularmente no meio científico, conforme demonstrado pelos resultados desse artigo. Se a composição e implantação das camadas dos telhados verdes são conhecimentos já bem consolidados na literatura, o mesmo não pode ser afirmado sobre seu desempenho hidrológico, considerando-



se tanto o controle de quantidade, como qualidade de água. Em especial, em relação ao controle quantitativo, a capacidade de retenção dos telhados verdes é muito dependente das características climáticas locais, tornando-se necessário desenvolver estudos específicos para cada local. Além disso, a literatura também carece de estudos sobre o desempenho de telhados verdes a longo prazo.

Referências bibliográficas:

- AYATA, T., Tabares-Velasco, P.C., Srebric, J., 2011, An investigation of sensible heat fluxes at a green roof in a laboratory setup. *Build Environ*, 46, 1851-1861.
- BERNDTSSO J.C., L. Bengtsson, K. Jinno. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecol Eng*, 35(2009), pp. 369-380.
- EMILSSON T., Berndtsson J.C., Mattson J.E., Rolf K. Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems. *Ecol Eng*, 29 (2006), pp. 260-271.
- FEITOSA, Francisco Fábio de Sousa. Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 1-102. 09 set. 2015.
- FERRAZ, I. L.; Leite, B. C. C. Amendoin no telhado: O comportamento da grama-amendoin (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Vitória, set. 2011.
- GARRIDO NETO, Pedro Souza. Telhados Verdes associados com sistemas de aproveitamento de água da chuva: Projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 1-177. ago. 2012.
- IBIAPINA, M. B.; Silva, V. G.; Ilha, M. S. O. Kowaltowski, D.C.C.K. Pesquisa Experimental para avaliar a qualidade da água e a capacidade de retenção de água pluvial em coberturas verdes em Campinas – Brasil. SBCS10 – III Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável, São Paulo, 2010.
- LEE, Ju Young; LEE, Min Jung; HAN, Mooyoung. A pilot study to evaluate runoff quantity from green roofs. Elsevier. South Korea, p. 1-6. 17 jan. 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.028>>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- MOURA, Newton Celio Becker de. Biorretenção tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 1-299. out. 2014.
- MENTENS J., Raes D., Hermy M. Green roofs as a tool for solving the Rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77 (2006), pp. 217-226.
- NAGASE, A., Dunnett, N., 2010. Drought. Tolerance in diferente vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landsc. Urban Plan.* 97, 318-327.
- PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. Desempenho de Pavimentos Permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 1-283. abr. 2011.
- RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; KAZEMI, F.. Impact of green roofs on stormwater quality in a South Australian urban environment. Elsevier. Adelaide, Australia, p. 1-9. 1 fev. 2014.
- PALLA A., I. Gnecco, L.G. Lanza. Unsaturated 2D modeling of subsurface water flow in the coarse-grained porous matrix of a green roof. *Journal of Hydrology*, 379 (2009), pp. 193-204.
- RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; BRIEN, C.j.. Developing resilient green roofs in a dry climate. Elsevier. Adelaide, Australia, p. 1-11. 15 ago. 2014.
- ROWE, D. Bradley. Green roofs as a means of pollution abatement. Elsevier. East Lansing, p. 01-11. jul. 2011.
- ROLA, S. M. A natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: Estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva. 2008. Universidade Federal do Rio de Janeiro, abr. 2008.
- STEUSLOFF S. Input and output of airborne aggressive substances on green roofs in Karlsruhe. *Urban Ecology*, Springer-Verlag, Berlin (1998).
- TABARES-Velasco, P.C., Srebric, J., 2009. The role of plants in the reduction of heat flux through green roof: laboratory experiments. *ASHRAE Trans*.
- TEEMUSKEEMUSK A., Mander U. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: the effects of short-term events. *Ecol Eng*, 30 (2007), pp. 271-277.
- VACEK, Petr; STRUHALA, Karel; MATĚJKA, Libor. Life-cycle study on semi intensive green roofs. Elsevier. Czech Republic, p. 1-11. 27 mar. 2017.
- VIJAYARAGHAVA, K., Joshi, U.M., Balasubramanian, R, 2012. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water Res*, 46, 1337-1345.
- VERGARA, Lizandra G. L.; Pippi, Luis Guilherme A.; Barbosa, Anullu R. Aplicação telhado verde como tecnologia sustentável para o projeto de edificações residenciais. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, set. 2009.
- KREBS, L. F.; Sattler, M. A. Coberturas vivas extensivas: Análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, out. 2010.
- KÖHLER M., Schmidt M., Grimme F.W., Laar M., Assunção Paiva de V.L., Tavares S. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health*, 13 (4) (2002), pp. 382-391.
- WONG N. H., Chen Y., Ong C. I, Sia A., 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop Garden in the tropical environment. *Build. Environ*. 38, 261-270.