

### **RESPOSTA HIDROLÓGICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE TELHADOS VERDES EM PEQUENA ESCALA**

*Francisco Lorenzini Neto<sup>1</sup>; Rutinéia Tassi<sup>2</sup>*

**RESUMO** – A modelagem hidrológica de telhados verdes é uma ferramenta capaz de avaliar a capacidade de retenção de águas pluviais desta estrutura frente a eventos ainda não monitorados. Neste estudo são apresentados resultados de simulações hidrológicas de um sistema, composto por um quarteirão de uma bacia hidrográfica urbana, realizadas a partir do emprego de um modelo de onda cinemática, no qual a transformação chuva-vazão é realizada pelo método da Curva-Número do SCS. Foram realizadas simulações de onze eventos chuvosos considerando as edificações com telhados verdes e telhados convencionais para avaliar a redução do escoamento pluvial. Os resultados obtidos mostram que a implementação de telhados verdes é efetiva no controle do escoamento pluvial, reduzindo-o em até 75% em escala de lote. Porém para eventos chuvosos de grande volume, esta efetividade diminui sensivelmente, o mesmo ocorrendo na medida em que se aumenta a escala espacial utilizada.

**ABSTRACT** – Hydrological modeling of green roofs is a tool capable to evaluate the capacity of storm water retention of this structure facing future events. In this study are presented the results of hydrological simulations of a system, composed of an urban watershed block, performed by using a kinematic wave model, in which the rainfall-runoff transformation is done by the SCS Curve-Number method. Eleven simulations were performed considering the edifications with green roofs and conventional roofs to evaluate the reduction of the storm water runoff. The results presents that the implementation of green roofs is effective to control the storm water runoff, reducing it by 75% at plot scale. However to rainfall events of great volumes, this effectiveness decreases substantially, the same happening when the spatial scale is increased.

**Palavras-Chave** – Telhado Verde; Modelagem Hidrológica; Pequena Escala.

#### **INTRODUÇÃO**

A impermeabilização do solo, consequência da falta de planejamento e uso do solo nas grandes cidades dos países em desenvolvimento, causa a diminuição da infiltração da água no solo e do tempo de concentração, ocasionando o aumento dos volumes escoados e das vazões de pico das enchentes. Estes aumentos ocasionam a perda da eficiência dos sistemas de drenagem.

Objetivando a mitigação deste problema são utilizadas frequentemente técnicas higienistas, compensatórias, ou mesmo a combinação destas para locais que já sofreram o processo de

---

1) Universidade Federal de Santa Maria, f.lorenzini@gmail.com

2) Universidade Federal de Santa Maria, rutineia@gmail.com

urbanização. Entretanto, nos locais onde ainda pode-se planejar a ocupação e uso do solo tem sido incentivada a utilização de medidas de Desenvolvimento de Baixo Impacto, as LID's (*Low Impact Development*). Estas medidas têm sido estudadas e aplicadas principalmente em países desenvolvidos.

As LID's englobam estruturas como telhados verdes (TV), trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis e reservatórios de aproveitamento de água da chuva. Os TV's, foco deste estudo, tem sua estrutura geralmente formada por várias camadas, as quais possuem diferentes finalidades (CASTRO e GOLDENFUM, 2010). De modo geral a estrutura é composta por uma camada de vegetação, uma de substrato e uma de drenagem (MENTENS *et al.*, 2006; EMILSSON, 2008), no entanto também pode existir uma camada de filtragem (TAYLOR, 2008) e uma membrana impermeável (LAZZARIN *et al.*, 2005).

Segundo Mentens *et al.* (2006), os TV's podem ser classificados em extensivos e intensivos, de acordo com a profundidade da sua camada de substrato: os extensivos possuem espessura máxima de 15 cm e os intensivos acima deste valor, podendo chegar até a 60 cm (PECK *et al.*, 1999).

Os TV's têm como uma das suas principais vantagens a retenção das águas pluviais. Esta característica tem sido estudada na Europa Ocidental há cerca de 20 anos, principalmente na Alemanha (UHL e SCHIEDT, 2008), porém em países em desenvolvimento os estudos são incipientes.

Ambicionando avaliar esta característica, é imprescindível a implantação de uma estrutura e seu monitoramento em longo período. Quando não são encontrados dados de longo período, como no Brasil, uma solução é monitorar a estrutura por um período de tempo menor e calibrar parâmetros de um modelo hidrológico, a fim de avaliar o desempenho da estrutura frente a eventos futuros.

A modelagem hidrológica de TV's possibilita avaliar a capacidade de retenção de águas pluviais destes através de diversos enfoques e condições meteorológicas. Além disso, a modelagem permite analisar o desempenho de TV's em diferentes escalas espaciais, partindo de uma edificação com TV até uma bacia hidrográfica urbana.

Este tipo de modelagem é uma abordagem relativamente nova. Em alguns estudos foram realizadas simulações em escala de bacia hidrográfica (CARTER e JACKSON, 2007; PALLA *et al.*, 2008; TANG, 2012) e em outros em escala de telhado (HOLLANDER, 2007 *apud* TANG, 2012; HILTEN *et al.*, 2008; SHE e PANG, 2010). Em todos estes estudos concluiu-se que os TV's são efetivos na redução do escoamento pluvial, sendo a modelagem uma importante ferramenta de análise.

No Brasil os estudos relativos à modelagem hidrológica de TV's são incipientes. Portanto neste trabalho são apresentados os resultados de simulações hidrológicas de um sistema representado por um quarteirão, onde foi avaliada a capacidade de retenção de águas pluviais dos TV's.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando avaliar o impacto dos TV's no escoamento pluvial foi simulado um sistema consistido de um quarteirão com 24 lotes de 300 m<sup>2</sup>, sendo 147 m<sup>2</sup> permeáveis (Figura 1). Este sistema foi elaborado por Tassi (2002) a partir de dados físicos reais da bacia do Arroio Areia da cidade de Porto Alegre – RS. Na modelagem deste sistema utilizou-se um modelo de propagação baseado na teoria da onda cinemática, proposto por Schaake (1971) e aprimorado por Tassi (2002), no qual é possível determinar a chuva efetiva pelo método da Curva-Número (CN) do SCS.

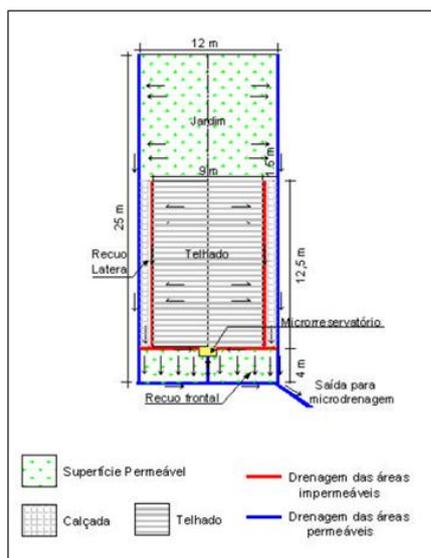


Figura 1 – Lote padrão simulado. Fonte: Tassi (2002).

Neste modelo os planos de escoamento das águas pluviais do sistema estão representados detalhadamente, possibilitando a representação fiel de todas as superfícies do interior do lote (telhados - TV, áreas pavimentadas, áreas verdes) e da via pública (ruas e passeio público). Na determinação do escoamento superficial de cada um destes planos foi utilizado o parâmetro CN, o qual pode ser obtido em tabelas (NRCS, 1986). No caso do TV, utilizou-se um valor de CN calibrado previamente para um TV experimental (LORENZINI *et al.*, 2013).

Além do CN, outro parâmetro utilizado para a representação das características do TV no modelo de onda cinemática, o coeficiente de rugosidade de Manning (0,05), foi calibrado

previamente a partir do monitoramento de um TV extensivo modular, que possui área aproximada de 6 m<sup>2</sup> e está instalado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em Santa Maria/RS (ainda não publicado). Na área do TV estão dispostos 24 módulos pré-fabricados, conhecidos como ecotelhas (ECOTELHADO, 2013) (Figura 2), cada um com capacidade de armazenamento de água de cerca de 14 litros/m<sup>2</sup> (PERSCH, 2012).

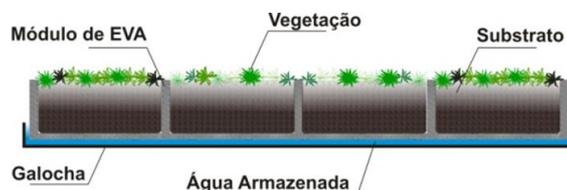


Figura 2 – Esquema transversal do sistema galocha. Fonte: Persch (2012).

Para fins de comparação, o sistema também foi simulado considerando um telhado convencional de fibrocimento (TC), onde foram utilizados valores de CN (98) e de rugosidade de Manning (0,015) obtidos por bibliografia especializada (TUCCI, 2013).

Com o objetivo de obter os hidrogramas nas saídas dos lotes e do quarteirão nas simulações do sistema, neste foi representado todo o sistema de drenagem pluvial do lote, como calhas, condutores verticais e horizontais, além do sistema público de coleta das águas pluviais, sarjetas, bocas de lobo e tubulação (TASSI, 2002), dimensionados para uma chuva de projeto com período de recorrência de 5 anos (HENTGES, 2013).

As simulações foram realizadas para onze eventos de chuvas reais observados na cidade de Porto Alegre/RS, com volumes variando entre 10,2 e 117,2 mm, e durações entre 40 e 610 minutos (Tabela 1). Os eventos de chuva foram utilizados com discretização temporal de 5 minutos.

Tabela 1 – Eventos de chuva observados utilizados nas simulações.

Data Evento	Evento	Volume (mm)	Duração (minutos)
11/06/1975	1	20,00	100
07/12/1976	2	36,85	95
22/07/1977	3	27,20	125
24/10/1978	4	23,00	140
12/04/1980	5	82,60	610
13/02/1981	6	90,80	150
07/07/1982	7	14,30	115
15/08/1983	8	10,20	45
20/04/1984	9	117,20	235
03/04/1985	10	22,10	40
04/11/1986	11	35,75	325

Para cada evento chuvoso, foram realizadas duas simulações: uma considerando a utilização de TV's, e outra de TC's, permitindo avaliar o impacto dos TV's no escoamento superficial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os volumes e vazões de pico dos hidrogramas produzidos pelas simulações com os TV's resultaram substancialmente menores em relação aos produzidos pelas simulações com os TC's. As reduções dos volumes e vazões de pico para cada evento estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Reduções dos volumes e vazões de pico pelos TV (%).

Evento	Volumes Escoados no Lote	Volumes Quarteirão	Vazões de pico Lote	Vazões de pico Quarteirão
1	67,70	39,56	70,06	42,24
2	48,72	29,61	45,68	28,23
3	58,99	34,98	56,87	36,29
4	63,91	37,50	62,15	37,33
5	26,89	17,49	16,16	11,20
6	23,04	13,37	23,04	0,00
7	73,28	42,80	74,85	44,84
8	75,32	43,96	75,48	45,96
9	18,08	5,92	15,67	0,00
10	65,16	38,20	73,69	43,53
11	49,80	30,17	49,81	30,03
Média	51,90	30,32	51,22	29,06

Nos lotes, os volumes e as vazões de pico reduziram em média 51,90% e 51,22%, enquanto que no quarteirão estas reduções foram de 30,32% e 29,06%, respectivamente (Tabela 2). As maiores reduções ocorreram nos eventos de menor volume de chuva (eventos 7 e 8), e as menores nos eventos de maior volume de chuva (eventos 6 e 9), nos quais não houve atenuação das vazões de pico (Tabela 2).

Observa-se também, que em escala de lote as reduções foram superiores às do quarteirão, como no evento 8, em que o volume reduziu em 75,32% no lote e 43,96% no quarteirão (Tabela 2). Esta diferença pode ser observada na figura 3, onde estão apresentados os hidrogramas simulados para o evento 8.

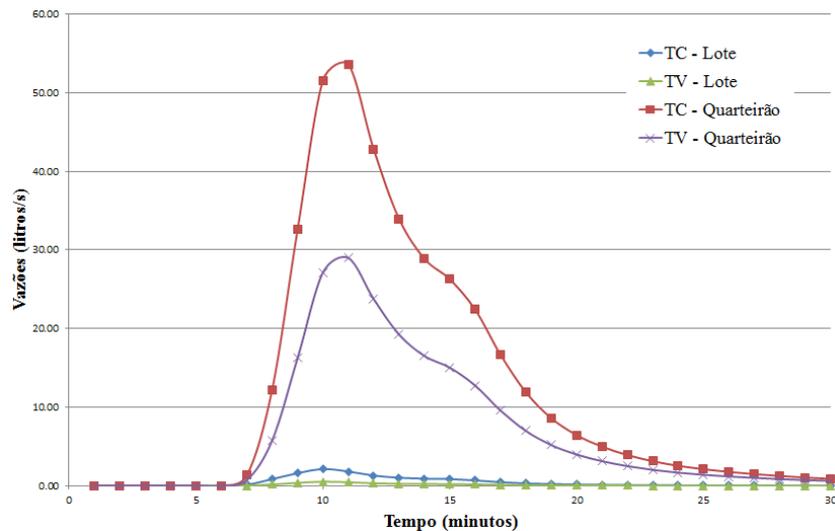


Figura 3 – Hidrogramas simulados para o evento 8 em escala de lote e quarteirão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação dos TV's no sistema simulado atenuou consideravelmente os volumes escoados e as vazões de pico. Nos eventos de maior volume de chuva estas reduções foram menores, concluindo-se que a efetividade do TV na retenção do escoamento pluvial reduz sensivelmente com o aumento do volume de chuva. Outros trabalhos desenvolvidos com modelagem de TV's também chegaram a esta conclusão (HILTEN *et al.*, 2008; PALLA *et al.*, 2008; TANG, 2012).

As reduções do escoamento pluvial foram maiores em escala de lote que em escala de quarteirão. A partir disso, pode-se concluir que a efetividade dos TV's na redução do escoamento pluvial também diminui na medida em que se aumenta a escala utilizada, mas que, comparativamente a um sistema sem telhados verdes, ainda assim é possível obter uma significativa redução nas vazões escoadas.

## BIBLIOGRAFIA

CARTER, T.; JACKSON, C. R. (2007). "Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales". *Landscape and Urban Planning*. N. 80, pp. 84-94.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A. (2010). “*Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano*”. Atitude. Porto Alegre - RS, Vol. 7, pp. 75-81.

ECOTELHADO. (2013). *Informações: Produtos*. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br>>. Acesso em: jan. 2013.

EMILSSON, T. (2008). “*Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix*”. Ecological Engineering. Vol. 33, n. 3-4, pp. 265-277.

HENTGES, S. C. (2013). “*Efeito de Reservatório de Aproveitamento de Água da Chuva Sobre Redes de Drenagem Pluvial*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

HILTEN, R. N.; LAWRENCE, T. M.; TOLLNER, E. W. (2008). “*Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D*”. Journal of Hydrology. N. 358, pp. 288-293.

LAZZARIN, R. M.; CASTELLOTTI, F.; BUSATO, F. (2005). “*Experimental measurements and numerical modelling of a green roof*”. Energy and Buildings. Vol. 37, pp. 1260-1267.

LORENZINI, F.; TASSI, R.; TASSINARI, L.; BASSO, R. (2013). “*Calibração e Simulação Hidrológica de um Telhado Verde Utilizando o Método da Curva-Número do SCS*”. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves – RS.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. (2006). “*Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?*” Landscape and Urban Planning. Vol. 77, pp. 217-226.

NRCS. Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division. United States Department of Agriculture (1986). “*Urban hydrology for small watersheds*”. Technical Release 55 (TR-55) (Second Edition ed.).

PALLA, A.; BERRETTA, C.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. (2008). “*Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale*”. In Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edimburgo, Escócia.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M. E.; BASS, B. (1999). “*Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada*”. Canada Mortgage and Housing Corporation. 78 p.

PERSCH, C. G. (2012). “*Avaliação da Eficiência de um Telhado Verde no Controle Quantitativo do Escoamento Pluvial*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SCHAAKE, J. C. (1971). “*Modeling Urban Runoff as a Deterministic Process. In: Treatise Urban Water Systems*”. Colorado State University, pp. 343-401.

SHE, N.; PANG, J. (2010). “*Physically Based Green Roof Model*”. Journal of Hydrologic Engineering. V. 15, N. 6. 2010.

TANG, Y. (2012). “*Exploring the Response of Urban Storm Sewer System to the Implementation of Green Roofs*”. Thesis (Master of Science in Civil Engineering) – University of Illinois, Urbana-Champaign.

TASSI, R. (2002). “*Efeito dos Microrreservatórios de Lote Sobre a Macrodrenagem Urbana*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

TAYLOR, B. L. (2008). “*The Stormwater Control Potential of Green Roofs in Seattle*” in *Proceedings of the Low Impact Development for Urban Ecosystem and Habitat Protection*, Seattle, Estados Unidos.

TUCCI, C. E. M. (2013). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4<sup>a</sup> ed. Editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre – RS, 678p.

UHL, M.; SCHIEDT, L. (2008). “*Green Roof Storm Water Retention – Monitoring Results*” in *Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgo, Escócia.