

ANÁLISE DO EFEITO DOS TELHADOS VERDES NA VAZÃO DE PICO DE REDES DE DRENAGEM EM DIFERENTES ÁREAS DE DRENAGEM

Bruna Minetto^{(1)}; Rutinéia Tassi⁽²⁾; Francisco Lorenzini Neto⁽³⁾; Daniel Gustavo Allasia Piccilli⁽⁴⁾; Paula Fensterseifer⁽⁵⁾*

Resumo - O telhado verde é uma alternativa que visa a minimização do escoamento pluvial urbano e é uma prática cada vez mais necessária no Brasil. Com a finalidade de avaliar a eficiência desse sistema em diferentes escalas, aplicou-se um modelo de simulação hidrológica em 12 áreas urbanas de diferentes tamanhos em uma representação da Bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre, RS, considerando as coberturas das edificações substituídas por telhados verdes. Analisou-se o efeito dos telhados verdes sobre a redução do pico de vazão gerada nas diferentes áreas para três chuvas reais e duas de projeto. Verificaram-se indícios de que ao aumentar a área de drenagem há um menor benefício dos telhados verdes na redução das vazões de pico. No entanto, o efeito dos telhados verdes não deve ser desconsiderado pois, quando 100% das coberturas foram simuladas com telhados verdes foi possível obter uma redução na vazão de pico de aproximadamente 35%. Foram obtidas relações lineares que podem ser utilizadas para avaliar, de forma expedita, o efeito que diferentes proporções de telhados verdes nas coberturas das edificações têm sobre o pico das vazões. Os resultados também indicaram que as características dos eventos chuvosos tiveram influência nas reduções percentuais das vazões.

Palavras-Chave – Modelo Hidrológico, Redução de Escoamento Pluvial.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE GREEN ROOFS IN THE PEAK FLOW OF DRAINAGE NETWORKS IN DIFFERENT DRAINAGE AREAS

Abstract - The green roof is an alternative that aims minimizing urban stormwater runoff and is an increasingly necessary practice in Brazil. In order to evaluate the efficiency of this system in different scales, a hydrological simulation model was applied in 12 different urban areas of different sizes in a representation of the Arroio da Areia Hydrographic Basin in Porto Alegre, RS, considering the coverage of the buildings replaced by green roofs. The effect of green roofs on the reduction of peak flow generated in the different areas for three observed and two project rains was analyzed. It was verified that there were indications that when increasing the drainage area there is a lower benefit of the green roofs in the reduction of peak flow, although when 100% of the roofs were simulated with green roofs it was possible to obtain a reduction of peak flow of approximately 35%. Linear relationships were obtained that can be used to evaluate, in an expeditious way, the effect that different proportions of green roofs in the buildings have on the peak flow. The results also indicated that the characteristics of the rain events had influence on the percentage reductions of the flows.

Keywords – Hydrological Model, Stormwater Runoff Reduction.

^{(1)*}Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: bruna_minetto@hotmail.com

⁽²⁾Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: rutineia@gmail.com

⁽³⁾Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: f.lorenzini@gmail.com

⁽⁴⁾Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: dallasia@gmail.com

⁽⁵⁾Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: paula.fens@gmail.com

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização tem diversas consequências, tais como: alterações nos padrões da drenagem natural das águas pluviais; deslizamentos de encostas; inundações; e alagamentos, com consequentes problemas relacionados à saúde pública (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011). No Brasil, 84% da população ocupa, atualmente, áreas urbanas (IBGE, 2010) e os problemas com alagamentos, inundações, produção de sedimentos e degradação da qualidade da água são comuns na maioria das cidades brasileiras (TUCCI, 2001).

Nesse sentido, a adoção de práticas sustentáveis na drenagem pluvial urbana, procedimento bastante corriqueiro em países desenvolvidos, vem se tornando comum também no Brasil. O Desenvolvimento de Baixo Impacto (DBI), por exemplo, tem como objetivo preservar os processos hidrológicos de um determinado local, garantindo comportamentos hídricos semelhantes aos que ocorriam antes da urbanização, adotando técnicas de infiltração, armazenamento, filtração, evapotranspiração e retenção do escoamento na fonte (EPA, 2000).

A urbanização implica na substituição de superfícies naturalmente vegetadas por planos de escoamento que são mais lisos e impermeáveis, como as ruas, calçadas e telhados. Nesses planos o escoamento pluvial ocorre com maior velocidade, em função da menor rugosidade, e os volumes escoados serão maiores, visto que uma parcela significativa da água da chuva deixa de infiltrar no solo. Especificamente no caso dos planos formados pelos telhados convencionais, recomenda-se que o processo hidrológico natural seja mantido por meio da introdução de telhados verdes nas edificações. Os telhados verdes convertem a superfície lisa em um espaço vegetado com maior rugosidade (TASSI et al., 2014), retardando a velocidade do escoamento e retendo total ou parcialmente as águas pluviais. Outros benefícios dos telhados verdes estão associados ao conforto térmico (PALMEIRA, 2016) e acústico (TENILE, 2013), qualidade do ar e estética, deixando as cidades mais verdes e atraentes (GENGO; HENKES, 2012).

A avaliação da eficiência dos telhados verdes na retenção da água da chuva e redução de vazões escoadas para o sistema de drenagem pode ser mensurada a partir do monitoramento durante um longo período de tempo. Porém, quando isso não é possível, ou quando os dados do monitoramento são pouco representativos, uma alternativa viável é a modelagem matemática. A modelagem permite simular e analisar o desempenho dos telhados verdes em diferentes cenários, a partir da calibração de um modelo matemático utilizando dados monitorados em um período de tempo menor. Assim, neste trabalho foi utilizado um modelo matemático para simular a presença de telhados verdes em 12 áreas, com diferentes extensões e características, em uma bacia hidrográfica urbana. Para analisar o efeito de escala sobre o pico de vazão, primeiramente assumiu-se um cenário no qual todas as áreas possuíam edificações apenas com telhados verdes (TVs). Posteriormente, para as mesmas áreas, assumiu-se que todas as edificações possuíam telhados convencionais (TCs). Comparando-se os dados de vazão propagados nas redes de drenagem, foi possível verificar o efeito de escala e a eficiência dos telhados verdes na redução do pico de vazão dentro da bacia hidrográfica. Também foi avaliado um cenário no qual os telhados verdes são implementados em 25%, 50%, 75% e 100% das edificações, para avaliar qual seria o benefício da implantação progressiva dos mesmos em uma mesma área de drenagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, avaliaram-se o efeito de escala e a eficiência dos TVs na redução do pico de vazão em meio urbano a partir de modelagens matemáticas. Para isso, utilizou-se uma representação de parte da área de drenagem da bacia do Arroio da Areia, localizada em área

urbanizada na cidade de Porto Alegre (RS). Nesta representação, 59% da área foi considerada totalmente impermeável, condizendo com a realidade encontrada na bacia. Maiores informações sobre essa representação podem ser encontradas em Tassi, (2002).

Analisou-se o pico de vazão por meio de simulações realizadas com o modelo HUS-TVM, aplicado anteriormente por Lorenzini (2014), em combinação com o modelo Schaake (SCHAAKE, 1971; TASSI, 2002). O modelo HUS-TVM foi desenvolvido com base no produto do monitoramento de um telhado verde extensivo do tipo modular instalado desde 2010 no Campus da Universidade Federal de Santa Maria. O modelo Schaake é um modelo que permite a representação detalhada de cada superfície de escoamento (telhados, jardins, ruas, calçadas) e também dos sistemas de drenagem (calhas, condutores verticais e horizontais, sarjetas, redes de drenagem). O HUS-TVM é utilizado para reproduzir a transformação chuva-vazão nesse sistema de telhado verde, enquanto o modelo Schaake é utilizado para transformação chuva-vazão em outras superfícies no meio urbano, bem como a propagação em redes de drenagem.

A combinação dos modelos HUS-TVM e Schaake permitiu avaliar diversos cenários, incluindo diferentes áreas, eventos de chuva e presença de TVs e de TCs nas edificações. Com relação às áreas, foram escolhidas 12 áreas de diferentes extensões (0,72 ha a 28,08 ha), e foram simulados os seguintes eventos observados de chuva, com suas intensidades máximas e volumes: i) 35,7 mm.h⁻¹ e 6,7 mm; ii) 69,5 mm.h⁻¹ e 9,9 mm; iii) 106,7 mm.h⁻¹ e 19,4 mm. Além desses eventos observados, que foram utilizados no desenvolvimento do HUS-TVM, foram simuladas as chuvas de projeto com período de recorrência (TR) de 5 (120,6 mm.h⁻¹ e 35 mm) e 10 anos (133,2 mm.h⁻¹ e 38,6 mm), determinadas a partir da equação IDF do Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre, localizado próximo à área de estudo (BEMFICA, 1999), para uma duração de 1 hora, pico na metade da duração.

Para as simulações, assumiu-se, primeiramente, um cenário no qual as áreas simuladas possuíam coberturas nas edificações com TVs. Na sequência, considerou-se somente a presença de TCs para as coberturas de edificações. Os resultados foram avaliados de forma a determinar a porcentagem de redução da vazão de pico (Q_p) do escoamento superficial, a partir da equação (1).

$$Red_{Qp} = \left(1 - \left(\frac{Qp \text{ hidrograma simulado TV}}{Qp \text{ hidrograma simulado TC}} \right) \right) * 100\% \quad (1)$$

Para avaliar o efeito de escala em um cenário com 100% de telhados verdes, determinou-se a porcentagem de acréscimo de área e vazão, utilizando as equações (2) e (3).

$$\Delta A\% = \left(1 - \left(\frac{A_{ant}}{A_{post}} \right) \right) * 100\%; \quad (2)$$

$$\Delta Qp\% = \left(1 - \left(\frac{Q_{ant}}{Q_{post}} \right) \right) * 100\%. \quad (3)$$

Sendo: ΔA% o percentual de acréscimo de área; ΔQp% o percentual de acréscimo de vazão; A_{ant} a área anterior menor; A_{post} a área posterior maior; Q_{ant} a vazão anterior menor; e Q_{post} = vazão posterior maior.

Para avaliar o efeito progressivo da instalação de telhados verdes sobre a redução da vazão de pico, também foram realizadas simulações para as mesmas áreas de drenagem, onde se avaliou a implementação de 25%, 50%, 75% e 100% de telhados verdes nas coberturas das edificações. Essa análise foi realizada para a chuva previamente citadas. O resultado desta análise é apresentado em termos da redução percentual da vazão de pico escoada nas redes de drenagem, conforme equação 1.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises realizadas para os cinco eventos considerados. A coluna $\Delta A\%$ indica o incremento percentual de área avaliada, tomando como ponto de partida a menor área simulada de 0,72 ha; a coluna $\Delta Qp\%$ indica o percentual no incremento da vazão de pico considerando o incremento de áreas; e a coluna Red_{Qp} representa o percentual da redução da vazão de pico escoada em uma mesma área, relacionando a vazão de pico escoada com TVs em 100% das edificações, e sem TVs. A Figura 1 apresenta a relação obtida entre $\Delta A\%$ e $\Delta Qp\%$ para os eventos, bem como a redução da vazão (Red_{Qp}).

Tabela 1 – Variação da vazão de pico ($\Delta Qp\%$) em função do aumento da área ($\Delta A\%$) e redução percentual do pico de vazão com 100% de presença de telhados verdes (Red_{Qp}).

Área (ha)	$\Delta A\%$	Evento i		Evento ii		Evento iii		Evento TR 5 anos		Evento TR 10 anos	
		$\Delta Qp\%$	Red_{Qp}	$\Delta Qp\%$	Red_{Qp}	$\Delta Qp\%$	Red_{Qp}	$\Delta Qp\%$	Red_{Qp}	$\Delta Qp\%$	Red_{Qp}
0,72	0,00	0,00	42,26	0,00	41,18	0,00	37,19	0,00	31,82	0,00	30,99
1,44	50,00	50,15	41,40	49,43	41,31	49,32	37,64	49,50	31,18	49,51	30,39
2,16	33,33	32,29	41,00	31,68	40,28	30,50	38,76	32,45	31,34	32,40	30,39
2,88	25,00	21,87	41,17	22,14	40,54	21,35	39,96	23,74	30,36	23,83	29,43
4,32	33,33	31,62	40,54	30,84	40,60	31,08	40,10	31,92	30,58	31,96	29,40
5,76	25,00	28,72	41,08	29,37	39,77	29,32	38,95	27,27	31,05	27,17	30,11
7,2	20,00	10,17	40,10	9,14	39,59	6,52	41,76	14,28	29,91	14,42	28,92
9,36	23,08	21,89	39,87	22,21	39,34	22,64	41,31	22,70	29,78	22,66	28,67
12,24	23,53	14,41	40,10	14,57	38,63	13,20	42,05	16,41	29,33	16,48	28,26
15,12	19,05	12,83	39,90	13,32	38,59	12,70	43,01	18,41	28,47	18,49	27,37
17,28	12,50	11,33	39,81	11,16	38,34	10,72	43,00	11,39	28,39	11,40	27,29
28,08	38,46	39,69	40,07	39,98	38,49	40,12	43,01	39,25	28,76	39,25	27,69

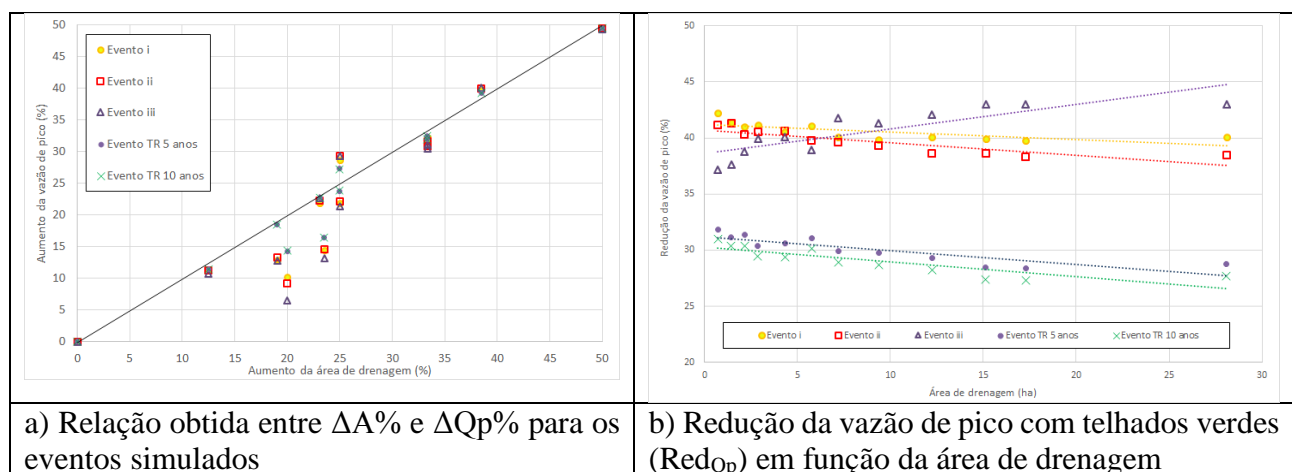


Figura 1 – Avaliação da influência do incremento de área de drenagem ($\Delta A\%$) no incremento da vazão ($\Delta Qp\%$) e na redução da vazão de pico com telhados verdes (Red_{Qp}).

A partir dos resultados encontrados, observa-se que houve um aumento percentual na vazão de pico que guarda uma relação que é quase diretamente proporcional ao aumento percentual da área de drenagem, mostrando linearidade no processo (Figura 1a). Verificou-se que para os eventos de TR 5 e 10 anos os resultados foram muito próximos, e que o aumento percentual da vazão de pico escoada poderia ser estimado por meio de uma função linear, com coeficiente de determinação elevado ($R^2=0,96$); para os demais eventos, o coeficiente de determinação também foi muito bom (R^2 superior a 0,8).

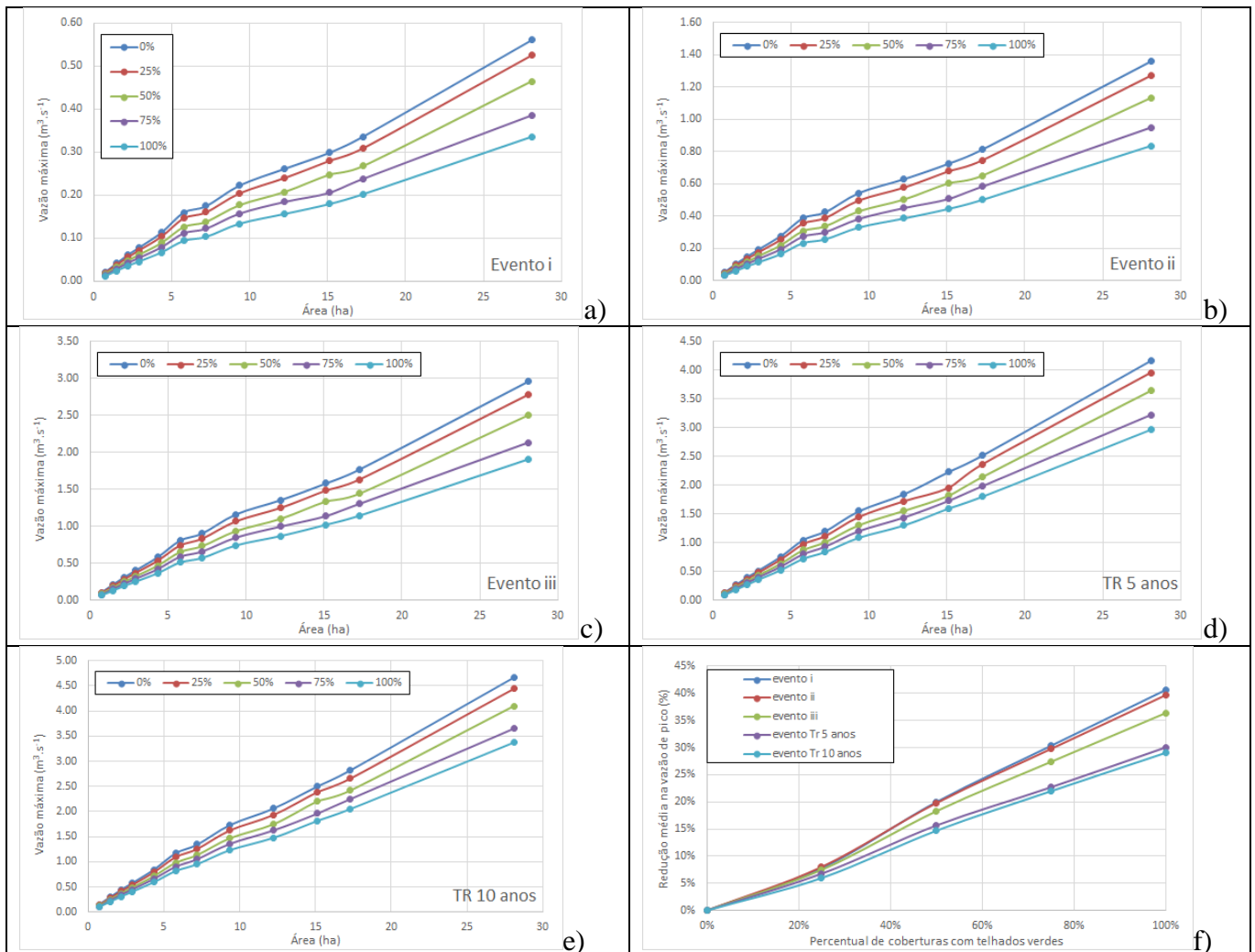


Figura 2 – Vazão de pico (a até e) nas diferentes áreas com a implantação progressiva de telhados verdes (25%, 50%, 75% e 100%) e redução média na vazão de pico para diferentes eventos e percentuais de coberturas com TVs.

Quando analisada a Red_{Qp} observa-se que houve uma diminuição do efeito dos TVs à medida em que a área de drenagem aumentou, para quatro dos cinco eventos avaliados, sendo que a redução média da vazão foi de 40% para os eventos monitorados e de 29% para os eventos de projeto (Figura 1b). O resultado para o evento iii não apresentou mesmo padrão de comportamento, possivelmente em razão da característica do evento chuvoso. Nas Figuras 2a até 2e são apresentados os resultados das vazões pico para as diferentes áreas de drenagem com a implementação progressiva de TVs nas edificações (25%, 50%, 75% e 100%) para os eventos analisados.

Verificou-se que a implantação progressiva de TVs proporcionou uma redução nas vazões máximas que é proporcional. Por exemplo, para uma área de 15,12 ha, considerando o aumento de 0% de TVs para 25% de TVs a redução da vazão de pico foi da ordem de 6% para os eventos monitorados, e 12% para os eventos de projeto. Esse comportamento foi similar para as demais áreas, mostrando que os resultados foram dependentes da característica do evento chuvoso (Figuras de 2a até 2e), embora a redução percentual da vazão de pico não diferiu significativamente entre eventos (Figura 2f).

Na Figura 2f são apresentados valores médios, que sintetizam os percentuais médios de redução da vazão, em razão de diferentes proporções de TVs nas coberturas das edificações, para os diferentes eventos chuvosos. Nesta figura observa-se a influência da característica do evento chuvoso, de forma mais clara. Em média, para 100% de telhados verdes foi possível reduzir de 30% a 40% vazão de pico, dependendo do evento chuvoso. Para as demais proporções de TVs nas coberturas, a redução média foi de 26%, 18% e 7% para 75%, 50% e 25%, respectivamente.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, avaliou-se o efeito de escala na redução do pico de vazão do escoamento superficial, em função das áreas de drenagem, considerando edificações cobertas com telhados verdes. Os resultados apresentados dizem respeito a cinco eventos chuvosos e doze diferentes áreas de drenagem.

Para o efeito de escala, verificou-se que, com a utilização de TVs em 100% das edificações houve uma relação linear entre o pico de vazão nas redes de drenagem e aumento da área de drenagem. A análise do efeito dos TVs com a implantação percentual progressiva de coberturas verdes também revelou que o percentual de redução da vazão de pico pode ser relacionado com este percentual de cobertura de forma linear.

Os resultados desse cenário também indicaram que à medida em que a área de drenagem aumenta, há uma menor redução na vazão de pico escoada, proporcionalmente àquela simulada no cenário sem TVs, com indícios de que o telhado verde produz efeito mais significativo próximo à fonte. Apesar disso, o estudo comprovou a grande eficiência dos TVs na redução do escoamento superficial, obtendo-se uma redução média da ordem de 35% na vazão de pico quando 100% das coberturas foram simuladas com telhados verdes. Desta forma, os TVs podem ser considerados uma alternativa interessante para a minimização de problemas de alagamentos em áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

BEMFICA, D. Verificação da Aplicabilidade de Padrões de Chuvas de Projeto de Porto Alegre. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

EPA, 2000. Low Impact Development (LID): A literature review. Environmental Protection Agency, United States.

GENGO, R. C.; HENKES, J. A. 2012. A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 1, n. 2, p. 55–81.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em 25 mai. 2017.

LORENZINI, F. N. Modelagem de telhado verde: uma análise da eficiência no controle do escoamento pluvial em diferentes escalas. 2014. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.

PALMEIRA, A. N. Balanço de energia em telhado verde. 2016. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PIOVESAN, T. R. Caracterização acústica de dois sistemas modulares de telhados verdes brasileiros. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.

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

TASSI, R. Efeito dos Microrreservatórios de lote sobre a Macrodrenagem Urbana. 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. DA S.; PICCILLI, D. G. A.; et al. 2014. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. *Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154. ISSN 1678-8621

TUCCI, C. E. M. (Org). 2001. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre, Editora da Universidade, ABRH. p 32.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. 2011. *Recursos hídricos no século XXI*. Oficina de Textos, São Paulo.