

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS COM A UTILIZAÇÃO DE TETO VERDE COMO MEDIDA COMPENSATÓRIA

*Karla Azevedo dos Santos¹; Brenda de Oliveira Costa²; Marcela Antunes Meira³; Iana Alexandra
Alves Rufino*

RESUMO - O processo de expansão e ocupação dos centros urbanos se dá, na maioria das vezes, sem um planejamento urbano integrado aos fatores que compõem uma cidade, como o regime de chuvas da bacia hidrográfica que compreende o município, o relevo, as áreas que apresentam riscos caso ocupadas indevidamente, etc. A impermeabilização intensa e desenfreada vem causando impactos ambientais cada vez maiores e mais nocivos, particularmente quando relacionados aos recursos hídricos e à drenagem urbana. Dentre estes destacam-se alagamentos e inundações, mesmo em eventos chuvosos de pequena intensidade, causando prejuízos de diversas proporções à população. Nesse sentido, o presente artigo buscou apresentar simulações e comparações através do uso de coberturas verdes como medida compensatória a fim de observar o comportamento da bacia em relação ao escoamento gerado após o evento chuvoso, e avaliar se os resultados poderiam contribuir para uma melhora dos pontos críticos que apresentam problemas na microdrenagem local. Para tal, utilizou-se um modelo físico de teto verde e o *software* de simulação hidrológica SWMM – Storm Water Management Model, tendo obtido resultados com até 84% de redução do escoamento com a adoção da medida.

ABSTRACT–

Palavras-Chave – Impermeabilização do solo; Teto verde; modelagem hidrológica.

1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento das cidades traz consigo avanços incontestáveis, porém, em contrapartida, o fenômeno antrópico da urbanização desenfreada, como consequência deste desenvolvimento a qualquer custo, ocasiona prejuízos muitas vezes irreparáveis ao meio ambiente e, conseqüentemente, à qualidade de vida da população a longo e/ou curto prazo (MENDONÇA E LEITÃO, 2008; MOTA, 2003; OJIMA, 2007; Pathirana et. al, 2014). Dentre os impactos percebidos pelo crescimento urbano acelerado, destacam-se aqueles causados aos recursos hídricos. A ausência de um planejamento urbano integrado aos recursos hídricos representa uma grave lacuna na legislação

1) Universidade Federal de Campina Grande – azevedoarquiteta3@gmail.com; 2) Universidade Federal de Campina Grande – brendaolvr@gmail.com; 3) Universidade Federal de Campina Grande – marcelameira.ufcg@gmail.com; 4) Universidade Federal de Campina Grande – iana.alexandra@ufcg.edu.br

municipal, uma vez que, para garantir a qualidade da água e a recarga dos aquíferos, precisa-se ter em mente os usos e atividades desenvolvidos nas bacias hidrográficas (MOTA, 2003). Mota (2003) defende a importância de levar a bacia hidrográfica em consideração no zoneamento como forma de planejamento urbano, pois, segundo o autor, através das peculiaridades de cada bacia, consegue-se definir o uso e ocupação do solo, ou seja, o ordenamento territorial dependeria de suas características morfológicas. Muitos destes problemas se devem ao fato de as cidades não saberem lidar com suas águas (GORSKI, 2010).

Paralelamente a este cenário, cresce, mundialmente, a quantidade de estudos que embasam o conceito de cidade sensível às águas (Rijke et. al, 2012; WONG E BROWN, 2009), a transição dos modelos de infraestrutura tradicionais para modelos sustentáveis (Burns et. al, 2012; Brown et. al, 2008; FAUSTINO E SILVA, 2016) e, ainda, estudos que defendem a importância da capacidade de resiliência de uma cidade, reduzindo o risco de desastres (DESOUZA E FLANERY, 2013; GODSCHALK, 2003; Pickett et. al, 2004; Carvalho et. al, 2013; LEITE, 2013). Leite (2012) defende novas perspectivas ao planejamento urbano integrado, através de novos territórios sustentáveis, de onde se podem extrair inovações que possam ser replicadas em outros lugares.

Pretendendo contribuir com os estudos desenvolvidos nesta temática, o presente trabalho tem como objetivos: a) reproduzir um modelo físico de teto verde e b) espacializar a aplicação da medida compensatória em coberturas de edificações comerciais e/ou institucionais de um bairro da cidade de Campina Grande – PB.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O estudo foi reproduzido no campus da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no bairro Universitário. A cidade de Campina Grande está inserida no agreste do estado da Paraíba, dentro da região semiárida nordestina. A cidade alterna entre períodos de severa escassez hídrica e chuvas curtas e concentradas que causam enormes prejuízos à população, mesmo em uma região semiárida (Figura 2).

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi imprescindível a utilização de um modelo de telhado, localizado no Laboratório Hidráulica I (BLOCO CR), desenvolvido por Castro & Galvão (2015), como apresentado na Figura 4. O telhado possui 3m² de área, sendo possível controlar a inclinação da cobertura e tipo de telhado a ser utilizado. O modelo também possui um sistema de captação de água através de uma calha de PVC e conta com um simulador de chuva que funciona por bombeamento.

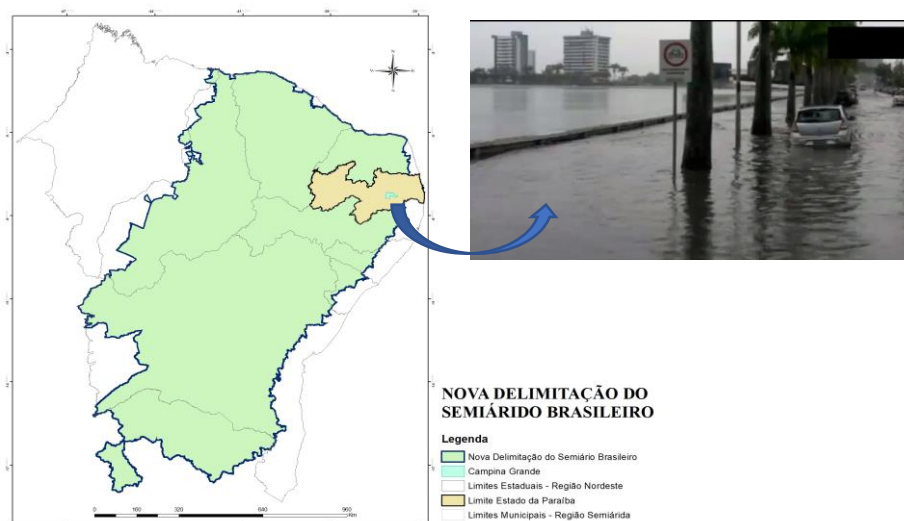


Figura 2: Delimitação do Semiárido brasileiro, com destaque para o município de Campina Grande – PB e imagem do Açude Velho. Fonte: Adaptado de ANA (2017) e Jornal da Paraíba.

2.2. Materiais e Métodos

Montagem do modelo físico

Para a elaboração do modelo físico foi realizada uma análise prévia da viabilidade econômica para implementação através de pesquisa de preço dos materiais necessários para reprodução de um teto verde (Tabela 1). Além do baixo custo, a grama esmeralda foi escolhida por necessitar de menos tempo para enraizar-se possibilitando maior rapidez na realização dos ensaios.

Para a montagem em cima da estrutura existente foi necessária sua adaptação. Para isso, uma armação de madeira foi fixada nas laterais do telhado (Figura 4). A primeira camada foi a impermeabilização da cobertura utilizando uma lona comum. A segunda camada foi composta por 4 cm de brita. Por cima da brita foi colocada uma manta geotêxtil que tem a função de filtrar a água, evitando que o substrato se misture com a brita. A quarta camada é composta de terra adubada e, por fim, a camada de vegetação. O passo a passo está apresentado na Figura 5 abaixo.



Figura 4: armação de madeira.

Tabela 1: lista e valores dos materiais utilizados na reprodução do modelo.

Material	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Gramma	3 m ²	R\$10,00/m ²	R\$30,00
Manta Geotêxtil (Capa de tubulação de 100mm)	9,5m	R\$3,20/m	R\$30,40
Terra Adubada	3 Sacos	R\$10,00/saco	R\$30,00
Lona	4m ²	R\$12/m ²	R\$48,00
Brita	0,1m ³	Doação	R\$0,00
Modelo físico de telhado	3m ²	Disponível na UFCG	R\$0,00
		VALOR FINAL	R\$ 138,40

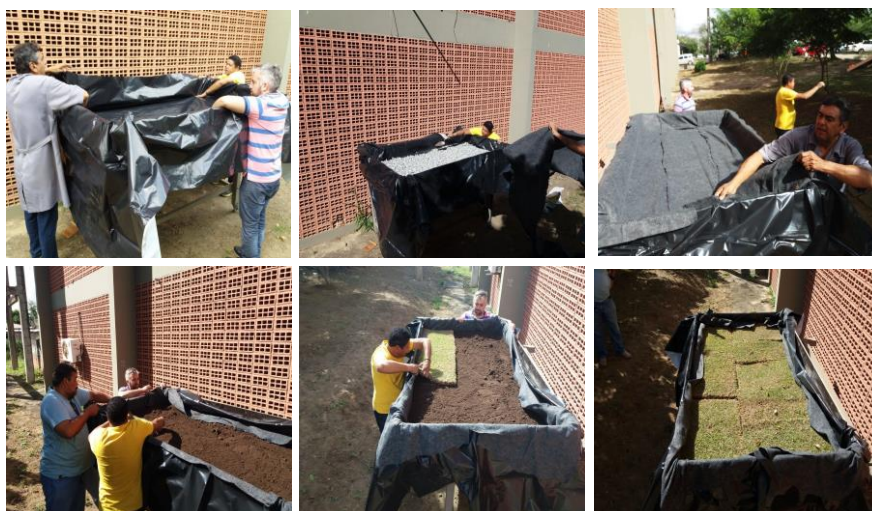


Figura 5: montagem do modelo físico.

Com o modelo pronto, esperou-se, aproximadamente, 20 dias, tempo necessário para que a planta enraizasse e fosse possível a realização do primeiro experimento.

Calibração do modelo físico

Para a calibração do modelo, alguns testes foram realizados para alcançar os parâmetros necessários para a simulação. A vazão média foi calculada através da vazão de cada micro aspersor e a apuração da lâmina foi feita através do cálculo do volume de água que cada micro aspersor distribui em sua área de influência (Figura 9).

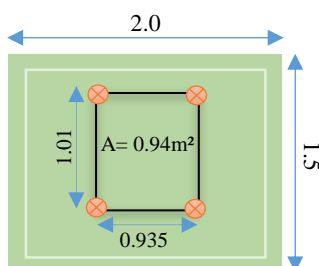


Figura 6: esboço do modelo com a distância entre os micros aspersores. Cotas em metros (m).

Este cálculo foi realizado através da medição do volume de água captado em um recipiente durante 1 minuto. A fórmula para o cálculo do volume no recipiente está demonstrada na Equação 1:

$$772 + 165,4 \times \text{Altura (A}_m) = \text{Volume (ml)} \quad (1)$$

Onde a altura equivale à quantidade de água captada em cada micro aspersor (MP) durante 1 minuto, obtendo como altura média 6,2 cm.

MP₁: Altura 2,25 cm / MP₂: Altura: 5,1 cm / MP₃: Altura 10,5 cm / MP₄: Altura 6,9 cm

Logo:

$$772 + 165,4 \times 6,2 = 1797,48 \text{ ml} = 1,8 \text{ Litros} \quad (1)$$

O cálculo da lâmina gerada em 1 minuto seguiu a Equação 2 abaixo:

$$\frac{\text{Vazão}}{\text{Área entre os aspersores}} \times \text{área do telhado} = \frac{1,8 \text{ L/min}}{(0,94)\text{m}^2} \times 3\text{m}^2 = 1,91 \frac{\text{L}}{\text{min} \times \text{m}^2} \times 3\text{m}^2 = 5,75 \text{L/min} \quad (2)$$

Por se tratar de um modelo reduzido, o tempo de precipitação de 30 minutos produziria um volume muito superior aos 28,91 litros acumulados durante a chuva. Então, com o volume dos aspersores e da lâmina gerada, chegou-se a proporção de 5 minutos de chuva para 3m² de área que geraria o volume necessário. A Equação 3 mostra o cálculo do tempo simulado (Ts).

$$T_s = \frac{\text{Volume}}{\text{Lâmina}} = \frac{28,91 \text{ L}}{5,75 \text{ L/min}} = 5 \text{ min} \quad (3)$$

Dados de precipitação

Para o ensaio foi seguida a classificação de tempo de retorno apresentada por Tucci & Bertoni (2003) que, em relação ao sistema de microdrenagem com características comerciais e/ou residenciais, considera a utilização de um intervalo de 2 a 5 anos, sendo o valor usual, e o adotado nesta pesquisa, o de 5 anos. Os dados de estimativa de precipitação utilizados foram os calibrados por Aragão (2000) para a curva IDF. Os dados de precipitação utilizados estão apresentados na Tabela 2 que mostra os valores de precipitação acumulada calculados para uma chuva de 30 minutos, com intervalos de 5 minutos, para o tempo de retorno (TR) de 5 anos (ALVES, 2017).

Tabela 2: Precipitação acumulada em 30 minutos para um TR de 5 anos.

Intervalo (min)	TR 5 anos (mm)
5	10,17
10	15,97
15	20,18
20	23,55
25	26,41
30	28,91

Simulação hidrológica conceitual

Objetivando aplicar os resultados observados através da simulação física, foram realizadas, através do *software* SWMM (Storm Water Mangement Model), simulações em drenagem com e sem aplicação de teto verde como medida compensatória através da opção *LID Control*, que permite a caracterização e aplicação de várias medidas compensatórias em um modelo (ROSSMAN, 2010).

Para inserção dos dados no *software*, levou-se em consideração as características dos materiais utilizados no modelo físico e os parâmetros utilizados por Alves (2017), que aplicou tetos verdes como medida compensatória em dois recortes espaciais da cidade de Campina Grande. A Tabela 3 apresenta os dados de entrada inseridos no *LID Control* do SWMM.

Tabela 3: Parâmetros para cobertura verde para simulação no SWMM.

Superfície		Drenagem	
Profundidade (mm)	15	Espessura (mm)	3
Fração da cobertura vegetal	0,11	Índice de vazios	0,6
Rugosidade Superficial	0,15	Rugosidade	0,1
Declividade da superfície (%)	5		

3. RESULTADOS

Quanto ao modelo físico, a observação durou 35 minutos, sendo os 5 primeiros minutos durante a chuva simulada e os 30 minutos restantes para a análise da recuperação do solo em relação ao escoamento. Durante os 5 minutos, não foi constatado escoamento pela calha, o que representa um resultado importante, tendo em vista que, com a aplicação do teto verde, o impacto imediato causado pela chuva foi minimizado. Supõe-se que, levando em consideração as proporções, este seria um tempo importante para as pessoas se protegerem em local seguro da chuva. Nos 30 minutos restantes, observou-se o escoamento pela calha com redução de 61,9% do volume total de água infiltrada. A Figura 7 mostra o a quantidade de água captada através do escoamento pela calha, a Equação 4 mostra o cálculo para transformação da lâmina em volume e a Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados obtidos na simulação.



Figura 7: quantidade de água captada ao final do ensaio.

$$V = V^1 + V^2 = 772 + 165,4 \times \text{Altura}$$

$$V^1 = 772 + 165,4 \times 20,5 = 4.162,7 \text{ ml} = 4,2L$$

$$V^2 = 772 + 165,4 \times 37,2 = 6.924,9 \text{ ml} = 6,9L$$

$$V = 4,2 + 6,9 = 11,10L$$

(4)

Tabela 4: resultados da simulação.

Volume de entrada (litros)	Volume de saída (litros)	Redução (%)
28,91	11,10	61,9%

Quanto às simulações no SWMM, após a simulação no modelo físico, o resultado obtido foi aplicado em algumas edificações da cidade. Escolheu-se o bairro Catolé, na cidade de Campina Grande, por se tratar de uma região com grande percentual de área impermeabilizada e contabilizar muitos dos eventos de alagamentos da cidade em períodos de chuva (SANTOS *et. al*, 2017). Além disso, o Catolé abriga grandes equipamentos urbanos, como escolas e *shopping centers*. Observou-se, por tanto, que a adoção da medida compensatória contribuiu para o amortecimento do escoamento naquela região. Nas quadras S1 e S153 observa-se que a maior diferença se deu logo após o final da chuva com considerável redução do escoamento e, ao longo da análise, observa-se que a recuperação com e sem LID se deu de forma semelhante. A quadra S110 apresentou uma pequena diferença logo após o evento, tendo sua maior diferença nos 30 minutos finais da análise. Os mapas gerados estão representados nas Figuras 8 e 9 e a Tabela 5 apresenta o resumo dos resultados alcançados.



Figura 8: mapas com a identificação das quadras analisadas gerados após a simulação no SWMM SEM LID. a) Imediatamente após a chuva; b) 30 minutos após a chuva e c) 60 minutos após a chuva.

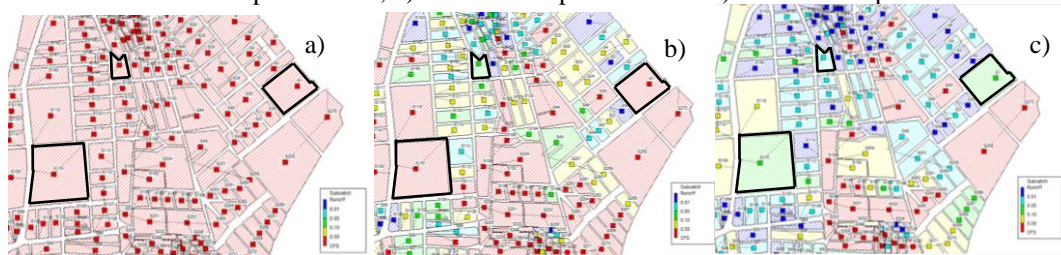


Figura 9: mapas com a identificação das quadras analisadas gerados após a simulação no SWMM COM LID. a) Imediatamente após a chuva; b) 30 minutos após a chuva e c) 60 minutos após a chuva.

Tabela 5: resumo dos resultados obtidos com a simulação no SWMM.

	Quadra S1	Diferença (%)	Quadra S110	Diferença (%)	Quadra S153	Diferença (%)
Imediatamente após a chuva (m ³ /s)	0.91	-84%	1.40	-5%	0.12	-58%
Imediatamente após a chuva c/ Teto Verde (m ³ /s)	0.14		1.34		0.05	
30 minutos após a chuva (m ³ /s)	0.06	-	0.26	-3,8%	0.00	-
30 minutos depois da chuva c/ Teto Verde (m ³ /s)	0.06		0.25		0.00	

60 minutos depois da chuva (m ³ /s)	0.01	-	0.07	-14%	0.00	-
60 minutos depois da chuva c/ Teto Verde (m ³ /s)	0.01		0.06		0.00	

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação realizada no modelo físico foi uma oportunidade de observar na prática o que tem sido estudado através de simulações hidrológicas conceituais (ALVES, 2017; SILVA *et. al*, 2017; RUFINO *et. al*, 2018). Os resultados apresentaram uma satisfatória diferença com a implementação de uma cobertura verde no telhado, sobretudo durante a chuva, quando não foi observado escoamento, o que pode ser interpretado como o tempo para que as pessoas possam procurar um local seguro para se proteger da chuva, por exemplo. Após 30 minutos de observação, constatou-se uma diminuição de 61,9% do volume infiltrado, tendo sido captado pela calha aproximadamente 11 litros do volume inicial. Concluiu-se, pois, que a medida compensatória auxiliou no amortecimento do escoamento superficial gerado pela chuva.

A simulação realizada no *software* SWMM permitiu a espacialização dos resultados obtidos na simulação física, bem como um tempo maior de observação (até 60 minutos após o término do evento chuvoso). Percebeu-se a confirmação do dado observado na simulação física, uma vez que os melhores resultados da simulação no *software* foram imediatamente após a chuva, com diminuição de até 84% do volume escoado.

Diante deste contexto, a pesquisa fortalece a importância de simulações em modelos físicos para que se tenha contato, na prática, com os fatores não levados em consideração em uma simulação conceitual (viabilidade econômica, mão-de-obra, variações diárias de temperatura, vento, etc.), ao passo que confirma, também, a precisão de simulações hidrológicas conceituais quando se tem os dados necessários.

REFERÊNCIAS

- ALVES, P. B. R (2017) “*Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas*” / Dissertação de Mestrado, UFCG, 2015.
- BROWN, R., KEATH, N., WONG T. (2008) “*Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States*” in 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- BURNS, M. J., FLETCHER, T. D., WALSH, C. J., LADSON, A. R., HATT, B. E. (2012) “*Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform*”. Landscape and Urban Planning, v. 105, 230-240.
- CARVALHO, L., CARRASCO, U., FARINHA, M., BATISTA, S., FERNANDES, J. M., SOUSA, G., LEITÃO, N. (2013) “*Risco, desastre e resiliência – um desafio para a cidade da Amadora*” in IX congresso da geografia portuguesa – geografia: espaço, natureza, sociedade e ciência, Universidade de Évora, 441-447, 2013.

- DESOUZA, K. C., FLANERY, T. H. (2013) “*Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework*”. *Cities*, v. 35, 89–99.
- FAUSTINO, A. da S., SILVA, R. S. da (2016) “*A sensibilidade à água na trajetória de expansão urbana do município de São Carlos – SP*” in 7º Congresso luso brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável: contrastes, contradições e complexidades, Maceió, Brasil, 2016.
- GODSCHALK, D. R. (2003) “*Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities*”. *Natural Hazards Review*, ASCE, 136-143.
- GORSKI, M. C. B. (2010) “*Rios e cidades: ruptura e reconciliação*”. SENAC, 2010, 300 p.
- RIJKE, J., FARRELLY, M., BROWN, R., ZEVENBERGEN, C. (2012) “*Creating water sensitive cities in Australia: The strengths and weaknesses of current governance approaches*” in WSUD Conference 2012, Australia, 1-8.
- LEITE, L. AWAD, J. di C. M. (2012) “*Cidades inteligentes, cidades sustentáveis: desenvolvimento sustentável num planeta urbano*”. Porto Alegre, BOOKMAN, 2012, p. 264.
- MENDONÇA, F. de A.; LEITÃO, S. A. M. (2008) “*Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos*”. *GeoTextos*, v. 4, n. 1 e 2, 145-163.
- MOTA, S. (2003) *Urbanização e Meio Ambiente*. ABES, 2003, 352 p.
- OJIMA, R. (2007) “*Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras*”. *R. bras. Est. Pop.*, v. 24, n. 2, 277-300.
- PATHIRANA, A., DENEKEW, H. B., VEERBEEK, W., ZEVENBERGEN, C., BANDA, A. T. (2014) “*Impact of urban growth-driven landuse change on microclimate and extreme precipitation — A sensitivity study*”. *Atmospheric Research*, v. 138, 52-72.
- PICKETT, S. T. A., CADENASSO, M. L., GROVE, J.M. (2003) “*Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms*”. *Landscape and Urban Planning*, v. 69, 369–384.
- RUFINO, I. A.A, ALVES, P. B. R., GRANGEIRO, E. L. A., SANTOS, K. A. DOS. (2018) “*Dynamic scenarios and water management simulations: towards to an integrated spatial analysis in water urban planning*” in 13th Internacional Conference on Hydroinformatics – HIC, Jul. 2018.
- SANTOS, K. A. DOS. “*Análise multitemporal integrada da permeabilidade do solo nos bairros do Catolé e Sandra Cavalcante em Campina Grande –PB*”/ Dissertação de Mestrado, UFCG, 2015.
- SILVA, W. K. B, ALVES, P. B. R, SANTOS, K. A., VALENTIM, F. C. A, RUFINO, I. A. A. (2017) “*Tetos verdes como medida compensatória de drenagem urbana: proposta para o agreste paraibano*” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Nov. 2017.
- WONG, T. H. F., BROWN, R. R. (2009) “*The water sensitive city: principles for practice*”. *Water Science & Technology*, 673-682.