

MODELAGEM HIDROLÓGICA COM USO DE MICRO RESERVATÓRIOS NA SUB BACIA PE11 EM TERESINA - PI

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.13.22.VIII-020>

Girleiane Santos de Sá, Igor Samuel da Silva Barbosa, Luís Paulo Rêgo Santos, Ailton Soares Freire, Mauro César de Brito Sousa

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí, girleianesantosgs@gmail.com

RESUMO

O rápido aumento da impermeabilidade da superfície e os eventos extremos de chuva induzidos pelas mudanças climáticas tornam a expansão e modernização do sistema de drenagem existente um desafio, uma vez que esses métodos não atendem às aspirações de desenvolvimento urbano sustentável. Para que se tenha um manejo eficiente das águas pluviais urbanas e tornar a urbanização mais segura e sustentável, é fundamental a realização do controle das inundações, no entanto, é necessário conhecer as propriedades do ciclo hidrológico local, bem como dimensionar o impacto gerado pela aplicação das técnicas de drenagem. Em face disso, este trabalho analisou o comportamento hidrológico da sub-bacia PE11 e o consequente impacto da aplicação de micro reservatórios para tratamento da área de telhados, que representa 23,45% da área impermeável e 34,28% da área total da sub-bacia. Para simulações com TR de 5 anos e 10 anos, os resultados mostraram reduções, no pico de vazão, de até 16,43% e 14,59% respectivamente. Enquanto o volume escoado no exutório da sub-bacia foi reduzido em até 2,67% e 2,31% respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Micro reservatórios, SWMM, Drenagem Urbana, sustentável.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional descontrolado nos centros urbanos em desenvolvimento, bem como o aumento contínuo da urbanização ao longo dos últimos anos levou ao aumento de superfícies impermeáveis e águas pluviais. O aumento do escoamento contribui para múltiplos impactos negativos, como o aumento da carga sobre o sistema de drenagem e risco de inundações urbanas, redução das vazões do solo e da base dos rios e degradação da qualidade da água (WANG, PENG, et al. 2020). Sob essas circunstâncias, um método eficaz de gerenciamento de escoamento de tempestades é essencial para gerenciar os desafios de um mundo urbanizado (LARSEN, TOVE., et al., 2016).

O rápido aumento da impermeabilidade da superfície e os eventos extremos de chuva induzidos pelas mudanças climáticas tornam a expansão e modernização do sistema de drenagem existente um desafio, uma vez que esses métodos não atendem às aspirações de desenvolvimento urbano sustentável (GU, XIANYONG et al (2017), MITCHELL, VG (2006)). Para que se tenha um manejo eficiente das águas pluviais urbanas e tornar a urbanização mais segura e sustentável, é fundamental a realização do controle das inundações. Esse controle pode ser feito por medidas estruturais e não-estruturais. As estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial (ou o meio ambiente) através de obras na bacia (medidas extensivas), ou então no próprio rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrente das enchentes. Já as não-estruturais são aquelas que possibilitam um melhor convívio da população com os eventos de inundação, sem que haja alteração do meio físico, reduzindo os prejuízos através de medidas preventivas (BAPTISTA et al., 2005; TUCCI, 2007).

De acordo com TUCCI (2003), a política existente de desenvolvimento e controle dos impactos quantitativos na drenagem baseia-se no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível. Isso ocorre por meio de um sistema em rede que se inicia na via pela sarjeta e continua nas galerias subterrâneas que encaminham as águas ao exutório. Porém, cada vez que a ocupação urbana é modificada todo o sistema torna-se obsoleto e requer sua atualização e ampliação sob pena de excessivo escoamento superficial e suas consequências como alagamentos urbanos.

Já o controle de escoamento e gerenciamento sustentável das águas urbanas consiste em medidas na fonte, na micro e macrodrenagem (TUCCI, 2003). As principais medidas sustentáveis na fonte têm sido: a detenção de lote (pequeno reservatório), que controla apenas a vazão máxima; o uso de áreas de infiltração para receber a água de áreas impermeáveis e recuperar a capacidade de infiltração da bacia; os pavimentos permeáveis. As medidas de micro e macrodrenagem são as detenções e retenções. As detenções são reservatórios urbanos mantidos secos com uso do espaço integrado à paisagem urbana, enquanto as retenções são reservatórios com lâmina de água utilizados não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também da qualidade da água.

Devido a necessidade por alternativas sustentáveis de drenagem no manuseio de águas pluviais, surgiu então o conceito de tecnologias LID (Low Impact Development). Tal tecnologia visa aproximar-se do comportamento hidrológico natural em situações de tratamento e controle do escoamento superficial na escala do lote urbano (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012). A recuperação e prestação desses serviços ecossistêmicos representam um avanço considerável quando

comparadas às consequências das abordagens convencionais de drenagem urbana tanto no processo de melhoria da qualidade ambiental quanto na minimização de efeitos negativos propagados a jusante (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

OBJETIVOS

- **Objetivo geral**

O presente estudo tem como objetivo geral realizar modelagens hidrológicas na micro drenagem da sub-bacia PE 11 em Teresina - PI, a fim de avaliar a eficiência de técnicas compensatórias, para o controle das inundações geradas.

- **Objetivos específicos**

- Realizar simulações para estimativa das vazões geradas, considerando eventos chuvosos extremos e futuros;
- Simular a aplicação de técnicas compensatórias para controle de enchentes da sub-bacia PE 11, por meio do modelo hidrológico Storm Water Management Model (SWMM).

METODOLOGIA

A sub-bacia PE11 está inserida, segundo o Plano de Ordenamento Territorial (TERESINA, 2019), totalmente dentro dos limites do perímetro urbano, a área compreende uma região de gradiente topográfico bastante suave, com cotas que variam dos 102 m, junto à cabeceira, aos 54 m, na foz, sendo assim, propícia a alagamentos devido à ausência de sistemas de drenagem adequados às necessidades de escoamento das vazões geradas. A sub-bacia apresenta a forma de um leque, com área de 255,88 ha, perímetro de 6.902,74 m e coeficiente de compacidade de 1,21. No cruzamento das informações de uso e tipo de solo, o parâmetro CN médio para a sub-bacia foi estimado em 87,2. A Figura 1 mostra a sub-bacia PE11, demarcada em preto.



Figura 1: Sub bacia PE11. Fonte: Teresina, 2010.

De posse dessas características, o modelo no SWMM foi dimensionado e submetido a eventos de chuva com TR de 5 e 10 anos. Os parâmetros de entrada na sub-bacia PE11 estão descritos na Tabela 1. A área de intervenção com as LIDs considerada foi referente a área da sub-bacia coberta por telhados, equivalente a 60,0 ha, cerca de 23,45% da área total da bacia e 34,28% da área impermeável total. A quantificação dessa área ocorreu por meio do uso dos programas computacionais Google Earth e Autodesk AutoCad.

Tabela 1. Dados de entrada da Sub bacia PE11.

Propriedade	Valor
Área (ha)	255,88
Largura (m)	4082,05
Declividade (%)	7,55
% Área impermeável	75
n Manning – Impermeável	0,01
n Manning – Permeável	0,1
Alt. de armazen. em depressões - Impermeável	1,5
Alt. de armazen. em depressões – Permeável	3,0
% de área impermeável sem armazenamento	25
CN	87,2

Dados de precipitação:

Os eventos de chuvas foram implementados utilizando a equação genérica para as curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de Teresina (Equação 1), determinada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana (TERESINA, 2010), definindo os hietogramas de entrada do modelo chuva-vazão para a área modelada na TR de 5 e de 10 anos, com duração de 60 minutos e intervalo de 2 minutos de análise de escoamento, mostrados na equação 1.

$$i = \frac{1194,237 \times T^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo i a intensidade da chuva em mm/h, T o período de retorno em anos e t o tempo de concentração da bacia em min.

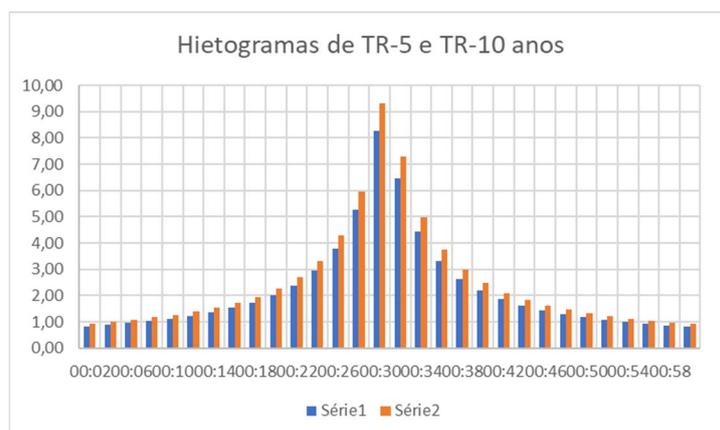


Figura 2: Hietogramas da TR-5 anos (em azul) e TR-10 anos (em laranja).

Hidrogramas e Volume Escoado:

Para análise do escoamento superficial e do volume escoado na saída da área da sub-bacia, por meio do método Onda Cinemática, foram gerados os hidrogramas e o volume de escoamento superficial no cenário Diagnóstico na TR de 5 e 10 anos, e posteriormente com as LIDs – micro reservatórios – implementadas.

Tabela 2. Parâmetros de controle de LID para micros reservatórios.

Parâmetro	Unidade	Valor
Armazenamento		
Altura da Camada de Armazenamento	mm	1000,00
Índices de vazio	-	-
Taxa de infiltração	mm/h	-
Fator de colmatação		
Dreno		
Coefficiente de Drenagem	-	1,00
Expoente de Drenagem	-	1,00
Altura da Tomada de Água	mm	1000,00

A efetiva implantação dessa medida considerou um barril de chuva por lote, cuja área de telhados média é de aproximadamente 200,00 m² e largura característica de 4,5 m. Considerando os edifícios comerciais, a área da sub-bacia equivalente a telhados determinou aproximadamente uma quantidade da ordem de 3.000 barris de chuva no total, considerando um cenário de intervenção em 100% da área de telhados, ou seja, 34,28% da área impermeável total da sub-bacia. O que resultou no dimensionamento de 3 LIDs com 11,43% de tratamento da área impermeável, contendo 1.000 unidades de barris de chuva para cada uma. A implementação dos micros reservatórios para uma LID na sub-bacia PE11 é descrita na Tabela 3.

Tabela 3.- Dados de implementação para cada LID – micro reservatório – na Sub-bacia PE11

Parâmetro	Valor de entrada
Área de cada unidade (m ²)	1
Número de unidades	1000
Largura da superfície por unidade	4,5
% da saturação inicial	0
% da área impermeável tratada	11,43

% da área permeável tratada	0
-----------------------------	---

Portanto, para análise do escoamento superficial e do volume escoado no exutório da sub-bacia, por meio do método Onda Cinemática, foram gerados os hidrogramas e o volume de escoamento superficial no cenário diagnóstico e, posteriormente, com as LIDs implementadas, considerando um cenário de intervenção: com a LID tratando 100% da área de telhados da sub-bacia. Os micros reservatórios foram adotados por serem uma medida de desenvolvimento de baixo impacto com bom custo-benefício e facilidade de instalação.

RESULTADOS

Cenário Diagnóstico:

Considerando a modelagem do cenário de referência, sem a intervenção de técnicas compensatórias, observa-se que o início do escoamento superficial acontece no primeiro minuto de simulação. Conforme a Figura 3, para a TR-5 anos, o pico na vazão de escoamento foi de 103.339,7 L/s, sendo o volume total escoado na saída da sub-bacia igual a 142.405.000,00 L. Enquanto para a TR-10 anos, o pico de vazão tem o valor de 119.917,1 L/s, compreendendo um volume total de escoamento igual a 163.367.000,00 L, como mostra a Figura 5. Para ambas as situações, a vazão de pico ocorre 32 minutos após o início da precipitação.

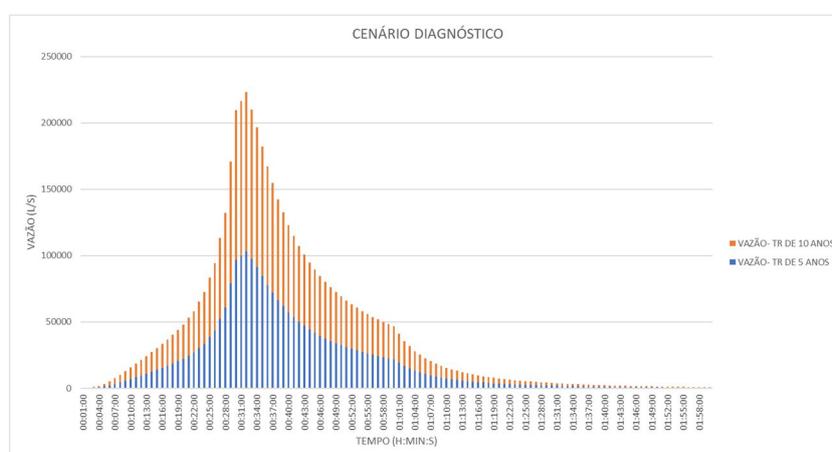


Figura 3: Hidrogramas da TR de 5 anos (azul) e TR de 10 anos (laranja) no cenário diagnóstico.

Cenários de Intervenção com Micro reservatórios em 100% da área de telhados:

Para os cenários em que 100% da área de telhados é tratada pelas LIDs, obteve-se os resultados mostrados na Figura 4. Na implementação de barris de chuva na sub-bacia PE11 sob precipitação com TR-5 anos, o pico de vazão na simulação tem o valor de 86.352,63 L/s, sendo o volume total escoado na saída da sub-bacia igual a 138.595.000,00 L, o que significa uma redução de 2,67% comparando com o respectivo diagnóstico. Já para TR-10 anos, o pico de vazão foi de 102.411,70 L/s, com volume de escoado na saída da sub-bacia de 159.589.000 L, representando uma redução de 2,31% levando em conta a situação inicial.

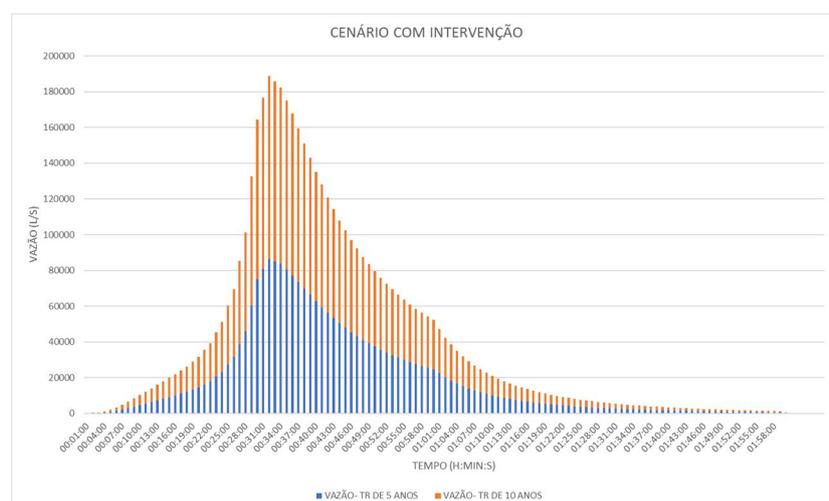


Figura 4: Hidrogramas da TR de 5 anos (azul) e TR de 10 anos (laranja) no cenário com intervenção das LIDs.

Panorama Geral:

Tabela 4: Comparação dos cenários de intervenção com o diagnóstico para TR- 5 anos e TR-10 anos.

Cenário	Tempo de simulação até o pico (h:min:s)	Tempo de retorno (anos)	Redução do pico de vazão (%)	Redução do volume total (%)
Micro reservatórios em 100% da área de telhados	00:32:00	5	16,43	2,67
Micro reservatórios em 100% da área de telhados	00:32:00	10	14,59	2,31

De acordo com a Tabela 4, sob efeito do TR-5 anos a LID teve um desempenho ligeiramente melhor. Haja vista que, como o armazenamento dos barris de chuva é o mesmo para ambos os cenários, sob o TR-10 anos, o volume de chuva não retido na fonte e o escoamento são maiores.

Entretanto, conforme Palla (2017), embora o desempenho hidrológico seja limitado para eventos de excesso de chuva (alta intensidade e curta duração), a instalação de barris de chuva em áreas urbanas contribui para aumentar satisfatoriamente o desempenho hidrológico da rede de drenagem de águas pluviais mesmo para o evento de tempestade de projeto ($T \frac{1}{4}$ 10 anos).

Outro aspecto importante é a cobertura de tratamento da área impermeável que a LID alcança. Através das simulações, observou-se que quanto mais próximo de 100% de cobertura da área de telhados pelos barris de chuva, os atrasos e reduções da vazão de pico e do volume total escoado são maiores. Esses resultados estão em consonância com outros diversos estudos semelhantes como Versine, et al. (2015), cujas análises foram baseadas no comportamento de telhados verdes, simulados em uma sub-bacia urbana de Trappes, França; em que entre os cenários de 12,5%, 25%, 50% e 100%, foi constatada uma maior eficiência da LID com o aumento de cobertura da área impermeável tratada.

Ademais, a integração dos diferentes dispositivos de baixo impacto potencializa os bons resultados quanto à mitigação das enchentes e alagamentos em bacias urbanas. Liao, et al. (2015), em estudos realizados na zona urbana de Xangai (China), confirma o maior custo-benefício gerado pela diversificação das técnicas compensatórias em áreas urbanizadas, visto que algumas são mais acessíveis e de fácil implementação do que outras, a depender das condições de mercado e de infraestrutura da área de intervenção.

Sendo assim, os micros reservatórios são medidas de controle na fonte ideais, baseados em sua fácil instalação e possibilidade de reaproveitamento de águas pluviais, atuando como cisternas e diminuindo o uso de água potável. Contribuindo ainda para limitar vazões e falhas no sistema de drenagem; reduzir a quantidade de volume de escoamento que precisa ser tratado antes de descarregar nos corpos d'água receptores (PALLA, 2017).

CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou, por meio de simulação, os impactos de infraestruturas de LID sobre o escoamento superficial na Sub-Bacia PE11, em que foi proposto a aplicação de uma mesma LID para dois tempos de retorno de chuva, um de 5 anos e outro de 10 anos.

Com os resultados obtidos para o cenário com a aplicação da LID, concluímos que com a aplicação dos micros reservatórios através do modelo EPA SWMM na Sub-bacia houve uma pequena redução do volume total escoado. Para um tempo de retorno de 5 anos houve uma redução de 2,67%, e para o tempo de retorno de 10 anos houve uma redução de 2,31%, porém, apesar de ter sido uma redução relativamente pequena, já era um resultado esperado, uma vez que deve ser levado em conta que a capacidade de armazenamento das LID's dimensionadas era de apenas 1 m³, e sua eficiência é substancialmente afetada por suas dimensões e propriedades.

Entretanto, é importante pontuar que o desempenho da LID diminui para chuvas maiores, sendo mais eficiente para chuvas com menores tempos de retorno. Outro ponto a ser levado em conta é que para solucionar esse problema de um grande volume de vazão escoado, apenas os barris de chuva, sozinhos, não são capazes de reduzir significativamente esse volume de água, logo, é preciso que sejam trabalhadas em conjunto, outros tipos de LID's para que haja um melhor resultado.

Sendo assim, o presente trabalho indica o uso de micro reservatórios, mas deixando claro que o uso deles, ainda mais separadamente, não são uma solução global para a resolução dos problemas de drenagem desses locais. É necessário que haja um conjunto de soluções que seja adaptável a cada local, assim como uma maior discussão de novo métodos de controle de alagamentos urbanos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baptista, M., Nascimento, N., Barraud, S. (2005). Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Primeira Edição.

- Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. Porto Alegre, RS. Brasil. 266 pp.
2. BARCO, J.; WONG, K.M.; STENSTROM, M.K. **Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment.** *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 134, n. 4, p. 466-474, 2008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2008\)134:4\(466\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:4(466))
 3. P. Wang, X. Wu, Y. Hao, C. Wu, J. Zhang, Is Southwest China drying or wetting? Spatiotemporal patterns and potential causes, *Theor. Appl. Climatol.* (2019) 1–15.
 4. Rossman L.A. (2010). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0.* EPA/600/R-05/040, US EPA National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, Ohio, USA.
 5. SOUZA, C.F.; CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas.** RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n.2 p. 9 18, abr/jun 2012.
 6. T.A. Larsen, S. Hoffmann, C. Lüthi, B. Truffer, M. Maurer, Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world, *Science* 352 (2016).
 7. TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. (2010). *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina.* Teresina, Piauí, Brasil.
 8. Tucci, C.E.M. (2003). **“Drenagem urbana”.** *Cienc. Cult*, Vol. 55 No. 4, 2003.
 9. Tucci, C. E. M. (2007). **Inundações Urbanas.** Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). RHAMA. Porto Alegre, RS. Brasil. 393 pp.
 10. V.G. Mitchell, **Applying integrated urban water management concepts: a review of Australian experience,** *Environ. Manag.* 37 (2006) 589–605.