



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA TÉCNICA MICRORRESERVATÓRIO DE LOTE NA BACIA DO RIO FRAGOSO EM OLINDA-PERNAMBUCO

Arivânia Bandeira Rodrigues¹ ; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral²

RESUMO

Com o crescimento populacional e as consequentes mudanças no uso e ocupação do solo, associado às projeções de mudanças climáticas e o método tradicional de drenagem, que tem se mostrado ineficiente, a necessidade de novas técnicas vem surgindo, em busca de soluções para problemas de alagamentos nas áreas urbanas. Dessa forma, o presente trabalho buscou avaliar a técnica de desenvolvimento de baixo impacto microrreservatórios de retenção em lote, na bacia do Rio Fragoso em Olinda. Os microrreservatórios ao armazenar as águas da chuva, contribuem para retardar uma parcela do escoamento e assim atenuam as vazões máximas de saída, atuando de forma eficiente, baixo custo e de fácil manutenção. Por meio do software PCSWMM, foram realizadas simulações, que responderam de forma satisfatória, com validação do modelo. As sub-bacias que apresentaram menor percentual de área impermeável, apresentaram melhores resultados, e as sub-bacias com maiores índices de urbanização, mostraram redução da vazão de pico menor, porém com a continuidade no desempenho satisfatório dos resultados.

ABSTRACT

With population growth and the consequent changes in land use and occupation, associated with climate change projections and the traditional method of drainage, which has been shown to be inefficient, the need for new techniques has emerged, in search of solutions to flooding problems. in urban areas. Thus, the present work sought to evaluate the technique of developing low-impact batch detention microreservoirs in the Fragoso River basin in Olinda. The microreservoirs, when storing rainwater, contribute to delaying a portion of the flow and thus attenuating the maximum outflows, acting efficiently, low cost and easy to maintain. Through the PCSWMM software, simulations were performed, which responded satisfactorily, with model calibration and validation. The sub-basins that presented the lowest percentage of impermeable area, presented better results, and the sub-basins with higher urbanization rates, showed a smaller peak flow reduction, but with the continuity in the satisfactory performance of the results.

Palavras-Chave – Mudanças Climáticas; Técnicas de Drenagem Urbana Sustentável;

1) Universidade Federal de Pernambuco: Avenida da Arquitetura, s/n – Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-550, 81 99916-9963, arivania.rodrigues@ufpe.br

2) Universidade Federal de Pernambuco / Universidade de Pernambuco: Avenida da Arquitetura, s/n – Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-550, 81 99987-8260, jaime.cabral@ufpe.br



1. INTRODUÇÃO

A probabilidade das inundações em cidades costeiras vem aumentando no mundo, visto que essa parcela da população se encontra mais vulnerável aos possíveis impactos das mudanças climáticas. As áreas costeiras têm um foco especial, principalmente quando são considerados os efeitos do aumento médio do nível do mar e inundações, pois são cidades com alta concentração de pessoas e importantes polos econômicos, o que as torna mais vulneráveis a estes fenômenos (GARGIULO et al,2020).

De acordo com os últimos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) num cenário mundial, os riscos climáticos, baseados em precipitações extremas e inundações costeiras, já são de moderado a alto, apresentando um alto índice de confiança na incerteza das previsões. Afirma-se também que desde 1850 a temperatura da Terra tem sido cada vez mais alta. No período de 2001-2020, houve um aumento médio de 0,99°C, sendo que na década de 2011-2020, a temperatura na superfície global registrou um aumento médio de 1,09°C (IPCC, 2021).

A cidade de Olinda, na Região Metropolitana do Recife, em Pernambuco, possui peculiaridades geográficas, baixas cotas do território em relação ao nível do mar, elevada pluviosidade, baixo gradiente hidráulico, lençol freático elevado, influência das marés contribuem para que na região da bacia do rio Frágoso os alagamentos e inundações sejam recorrentes.

Dessa forma, o planejamento da drenagem urbana faz-se necessário, com um conjunto de medidas que visa reduzir a frequência e mitigar os danos causados pelas inundações e alagamentos. As medidas estruturais são responsáveis pelo direcionamento e controle do fluxo das águas pluviais, atribuindo novas estruturas e fazem uso da implantação de obras que modificam o sistema natural para a retenção ou contenção do escoamento, como, por exemplo, a construção de reservatórios, diques e canalizações abertas e fechadas, sendo avaliado os microrreservatórios de lote.

Os microrreservatórios de lote são reservatórios de detenção de pequeno porte localizados em lotes urbanizados e que atuam de forma distribuída na bacia, como uma técnica de desenvolvimento de baixo impacto, possibilitando a recuperação da capacidade de amortecimento perdida devido à impermeabilização. Ao armazenar as águas da chuva, contribuem para retardar uma parcela do escoamento e assim atenuam as vazões máximas de saída. O uso dos reservatórios individuais é crescente no Brasil, sendo previsto, recomendado ou obrigatório na legislação de diversos municípios brasileiros, como Belo Horizonte, Porto Alegre, São Paulo, entre outros.

O município de Recife em Pernambuco, possui a Lei nº 18112/ 2015 que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do



"telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Segundo o artigo 3º, em lotes com área superior a 500 m² (quinhentos metros quadrados), edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 25% (vinte e cinco por cento) da área total do lote deverão ser executados reservatórios de águas pluviais como condição para aprovação de projetos iniciais.

O presente trabalho busca analisar a aplicação da técnica do microrreservatório de lote na bacia do Rio Fragoso em Olinda, que possui altas taxas de urbanização, problemas de alagamentos, em busca da redução das magnitudes das inundações, minimizando seus impactos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Fragoso encontra-se inserida na Mesorregião Metropolitana do Recife, na Unidade de Planejamento Hídrico UP-14, GL1 do grupo dos pequenos rios litorâneos, no litoral norte do Estado de Pernambuco. Situa-se, em maior parte, no município de Olinda, com ocupação de 62% e uma outra parte menor, nos municípios de Paulista e Recife, com ocupação de 35% e 3%, respectivamente. O rio Fragoso tem comprimento de cerca de 14,7 km, desde a nascente até a sua desembocadura em um estuário em conjunto com o rio Paratibe. A bacia do rio Fragoso possui área de contribuição de 28,6 km² e população estimada de 268 mil habitantes. Os principais afluentes são: riacho Ouro Preto e riacho Bultrins, como pode ser observado na Figura 01.

A bacia do rio Fragoso ocupa 13 bairros. Ao norte encontram-se os bairros do Rio Doce, Jardim Atlântico, Fragoso de Olinda e Fragoso de Paulista, Tabajara de Olinda e Tabajara de Paulista, Torres Galvão do Paulista e Mirueira do Paulista; a oeste, o bairro do Córrego do Caboclo; ao sul, os bairros do Jatobá, Ouro Preto, Bultrins e Alto da Nação; e ao Leste, os bairros do Bairro Novo e Casa Caiada (MELO, 2007).

O rio Fragoso deságua no rio Paratibe, a poucos metros da sua foz, sugerindo por Novaes (1990) apud Melo (2007) que a interligação entre as bacias ocorreu por força de ação antrópica forçando o posicionamento do rio Fragoso como um afluente do rio Paratibe, possivelmente durante a construção da ponte do Janga que liga o município de Olinda ao município de Paulista.

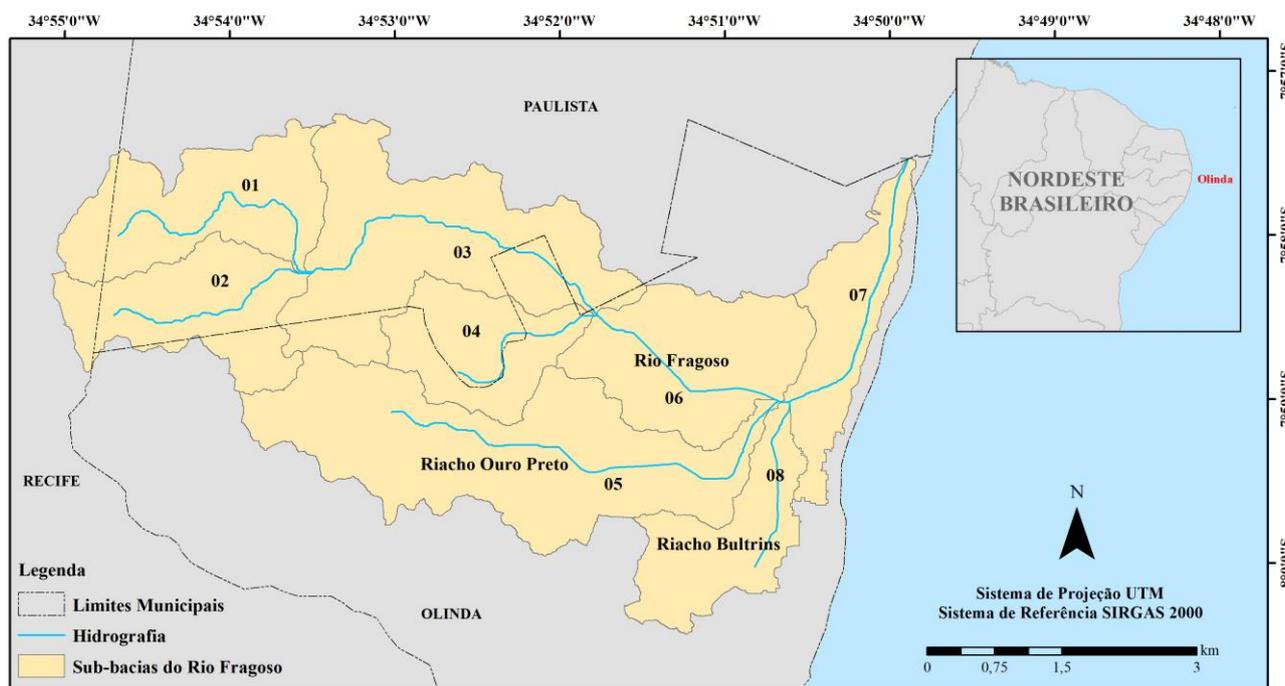


Figura 01 – Localização da Bacia do rio Fragoso

2.2 Metodologia e parâmetros da alternativa de controle dentro do modelo

Foi realizada a delimitação hidrográfica da Bacia do Fragoso, análise do avanço da urbanização da bacia e então a obtenção dos parâmetros e variáveis para dados de entrada do modelo PCSWMM, calibração, validação e assim a aplicação da técnica de desenvolvimento de baixo impacto, com parâmetros apresentados na Tabela 01 a seguir.

Tabela 01 – Dados de entrada das sub-bacias do modelo PCSWMM

Sub-bacia	Área (ha)	Largura superficial (m)	Declividade (m/m)	Área impermeável	CN	Vazão Máxima (m ³ /s) para o evento em 30/05/2016
01	326,440	587,92	0,0049	16,24%	51	12,59
02	274,680	489,63	0,0058	35,49%	65	17,41
03	548,120	619,06	0,0025	42,60%	61	56,31
04	231,080	560,86	0,0047	21,70%	61	24,30
05	679,400	622,08	0,0030	43,00%	70	62,77
06	342,640	750,78	0,0004	74,46%	79	54,78
07	225,200	353,23	0,0003	84,86%	94	35,41
08	230,120	416,56	0,0012	84,56%	94	33,19

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

A simulação de cenários com aplicação de práticas de desenvolvimento de baixo impacto visa analisar os benefícios que possam causar na bacia do Rio Fragoso. Foram avaliadas as reduções do pico de vazão e redução do volume total de escoamento. A técnica dos reservatórios de retenção em lotes, tem como finalidade armazenar a água da chuva por um determinado período, devolvendo-a ao sistema de microdrenagem após este tempo ou ao longo deste período a partir de uma vazão de



controle, diminuindo dessa forma os picos de vazão, diminuindo os problemas de inundação localizadas. A armazenagem da água em lotes pode ainda proporcionar seu uso doméstico em atividades que não requerem padrões de qualidade rigorosos, como regar plantas, abastecimento de caixas de descargas, entre outras. Outras vantagens dessa técnica podem ser: custos reduzidos, se comparados a um grande número de controles distribuídos, custo menor de operação e manutenção. Como dados de entrada, são necessários a altura do reservatório e parâmetros reguladores de fluxo que são apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Parâmetros reguladores de fluxo para simulação dos reservatórios de retenção em lotes

Tipo	Distância do fundo	Diâmetro	Coefficiente de fluxo para regulador no fundo	Tempo de retardo
Orifício circular	6 mm	3,2 cm	0 mm/h	0

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

O reservatório padrão escolhido possui um volume de 5 m³, com 1,6m de altura e diâmetro de superfície de 2,0m, de forma que a área de ocupação pudesse ser aplicada nas residências. Porém, esse volume de armazenamento pode ser maior, contribuindo ainda mais para retenção nos lotes.

Os índices pluviométricos foram obtidos por meio de séries históricas da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), de forma a possibilitar o conhecimento da média de volume de água de chuva e as particularidades de épocas secas e chuvosas. Foram obtidos os dados para Olinda a partir de 1999 até o ano de 2018. Os dados incluem informações sobre precipitações diárias com um intervalo de anos considerável para análise. O consumo médio per capita de água foi estimado em 170 litros/ hab.dia e a média de moradores em domicílios de 4,0 habitantes.

Foi realizada uma análise amostral dos lotes com auxílio do Google Earth, visto que a região estudada não possui cadastro com tais informações. Dessa forma, foi considerado um lote padrão de 200 m², apresentando 70% de área impermeável e 30% de área permeável, representado na Figura 02 a seguir e com visualização 3D na Figura 03, para melhor representação da área disponível.

Para a área de captação, foi realizada a soma das áreas das superfícies que, interceptando chuva, conduzem as águas para determinado ponto da instalação representada pela projeção horizontal da cobertura da edificação, seguindo a recomendação da NBR 10844, obtendo-se 140 m² de área de captação. O coeficiente de escoamento superficial representa a relação entre o volume total escoado e o volume total precipitado variando conforme a superfície. Com base nos valores comuns adotado, foi utilizado o C igual a 0,9, considerando o material do telhado de telhas cerâmicas (TOMAZ, 2007).

Foi analisada a simulação sem reguladores de fluxo no fundo, visto que nesse caso o modelo PCSWMM entende que após não haver mais capacidade de armazenamento no reservatório, o mesmo passa a verter e contribui com o escoamento da bacia. Essa opção é ativada zerando o coeficiente de fluxo. O regulador de fluxo, distante 6cm do fundo, do tipo orifício circular possui um diâmetro de 3,2 cm, a fim de que ocorra o esvaziamento quando necessário.

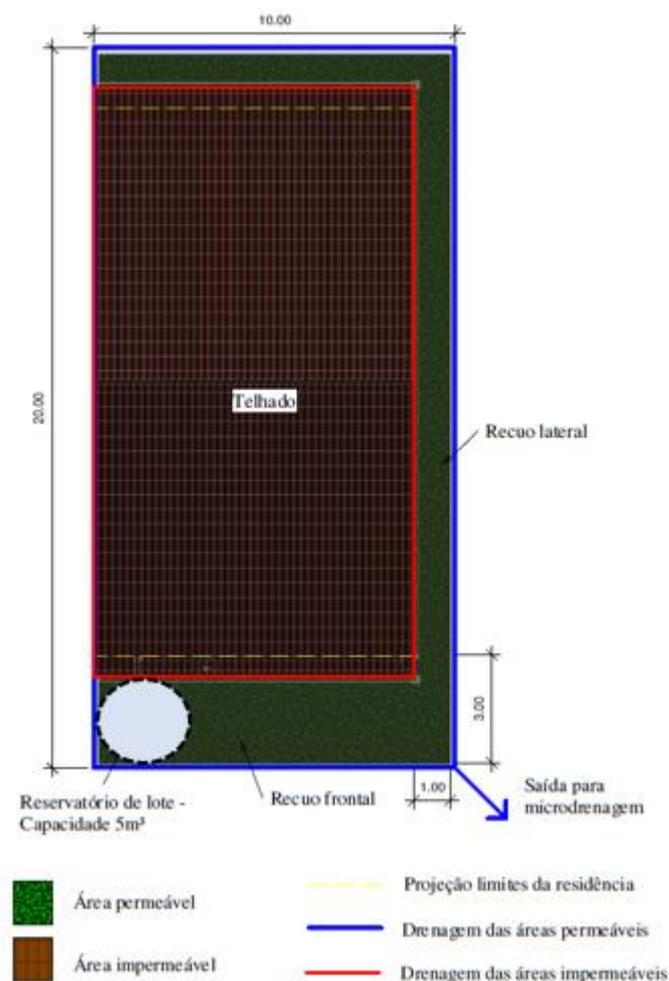


Figura 02 – Representação do lote modelo padrão de 200 m² simulado com aplicação da técnica de desenvolvimento de baixo impacto.

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

Com base nos dados dos setores censitários urbanos definidos e utilizados pelo IBGE (2016) no levantamento de dados do censo demográfico, 80% dos moradores residem em edificações unifamiliares. Assim, foram analisados a aplicação em 25% e 50% do número de domicílios existentes na região por sub-bacia. A Tabela 03 a seguir apresenta 25% e 50% da quantidade de microrreservatórios por sub-bacia. No PCSWMM é inserido a área superficial de um reservatório e a quantidade total em cada sub-bacia.



Figura 03 – Representação 3D do lote padrão analisado. Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

Tabela 03 – Quantidade total de microrreservatórios em cada sub-bacia

	SUB-BACIAS								TOTAL
	01	02	03	04	05	06	07	08	
25%	845	541	2069	670	2604	1941	1205	1961	11836
50%	1691	1081	4139	1340	5209	3882	2410	3921	23673

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As reduções nos valores de pico se mostraram satisfatórias com redução de até 69% para o tempo de retorno de 2 anos na sub-bacia 1 com aplicação da técnica em 25% das residências, e 70% com aplicação em 50% das residências. Para o tempo de retorno de 100 anos, a técnica continua se mostrando satisfatória, atingindo 61% e 62% de redução na vazão de pico. A sub-bacia 1 apresentou melhores resultados, em virtude do menor percentual de área impermeável, visto que é selecionada a opção para que a descarga da técnica de desenvolvimento de baixo impacto seja devolvida para a área permeável da sub-bacia, em vez de ir para a saída para a sub-bacia.

Quanto às sub-bacias com maiores índices de urbanização, como as sub-bacias 7 e 8, que apresentam aproximadamente 85% de área impermeável, para o tempo de retorno de 2 anos, os resultados mostram a redução da vazão de pico em 31% e 33% para as sub-bacias 7 e 8 respectivamente para aplicação em 25% das residências, e 34% e 40% para aplicação em 50% das residências. Para o tempo de retorno de 100 anos, os resultados encontrados são 30% e 32% / 32% e 35%, para as mesmas condições mencionadas anteriormente. Os resultados apresentados podem ser observados na Tabela 04 e 05 a seguir. Podendo concluir que mesmo em áreas mais consolidadas, a técnica apresenta desempenho satisfatório.

Tabela 04 – Redução da vazão de pico por sub-bacia adotando microrreservatórios sem orifícios de fundo para o tempo de retorno de 2 anos

Sub-bacias	TEMPO DE RETORNO = 2 ANOS				
	Q(m ³ /s) pico sem aplicação da técnica	Aplicação da técnica em 25% das residências		Aplicação da técnica em 50% das residências	
		Q pico (m ³ /s)	Redução	Q pico (m ³ /s)	Redução
1	13.35	4.12	69%	4.03	70%
2	22.15	7.45	66%	7.25	67%
3	35.41	10.87	69%	10.7	70%
4	12.82	4.20	67%	4.02	69%
5	41.68	12.94	69%	12.74	69%
6	23.94	12.88	46%	12.03	50%
7	13.31	9.21	31%	8.74	34%
8	22.47	15.05	33%	13.42	40%

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

Tabela 05 - Redução da vazão de pico por sub-bacia adotando microrreservatórios sem orifícios de fundo para o tempo de retorno de 100 anos

Sub-bacias	TEMPO DE RETORNO = 100 ANOS				
	Q(m ³ /s) pico sem aplicação da técnica	Aplicação da técnica em 25% das residências		Aplicação da técnica em 50% das residências	
		Qpico (m ³ /s)	Redução	Q pico (m ³ /s)	Redução
1	29.21	11.44	61%	11.18	62%
2	50.93	21.77	57%	21.33	58%
3	87.02	30.16	65%	29.39	66%
4	29.55	13.24	55%	12.88	56%
5	105.6	38.63	63%	37.58	64%
6	62.7	36.58	42%	35.26	44%
7	34.94	24.51	30%	23.88	32%
8	59.59	40.67	32%	38.64	35%

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

Em relação ao volume de escoamento, o melhor resultado encontrado foi para o tempo de retorno (Tr) de 2 anos e para sub-bacia 1, com redução de 42% e 47%, para a aplicação em 25% e 50% das residências, respectivamente. Para o tempo de retorno de 100 anos, atinge-se reduções de 17% e 20%. A sub-bacia que apresentou menor desempenho foi a sub-bacia 7, atingindo para Tr=2 anos, reduções de 6% e 10%. Para Tr=100 anos, os resultados foram menores, atingindo 3% e 5%.

Em relação ao volume total escoado na bacia para o tempo de retorno de 2 anos, houve redução de 20% e 24% (Tabela 6). Para o tempo de retorno de 100 anos, a redução foi de 8% e 10%, considerando a aplicação em 25% e 50% das residências, respectivamente (Tabela7).

Tabela 06 - Redução do volume de escoamento com microrreservatórios sem orifícios de fundo (Tr =2 anos)

Sub-bacias	TEMPO DE RETORNO = 2 ANOS					
	V pico aplicação técnica (m ³)	sem da	V pico com aplicação da técnica em 25% das residências (m ³)		V pico com aplicação da técnica em 50% das residências (m ³)	
			V pico (m ³)	Redução	V pico (m ³)	Redução
1	45960		26760	42%	24560	47%
2	87630		70740	19%	68380	22%
3	182900		120900	34%	113100	38%
4	49840		36650	26%	34100	32%
5	244300		177100	28%	166600	32%
6	200700		176100	12%	165500	18%
7	151700		143000	6%	137000	10%
8	158300		147600	7%	137800	13%
TOTAL	1121330		898850	20%	847040	24%

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

Tabela 07 - Redução do volume de escoamento adotando microrreservatórios sem orifícios de fundo para o tempo de retorno de 100 anos

Sub-bacias	TEMPO DE RETORNO = 100 ANOS				
	V pico sem aplicação da técnica (m ³)	V pico com aplicação da técnica em 25% das residências (m ³)		V pico com aplicação da técnica em 50% das residências (m ³)	
		V pico (m ³)	Redução	V pico (m ³)	Redução
1	145200	120200	17%	116800	20%
2	226200	209900	7%	207400	8%
3	438500	377800	14%	368500	16%
4	149400	134600	10%	131600	12%
5	603200	541100	10%	529100	12%
6	424100	404800	5%	395200	7%
7	305700	296900	3%	290900	5%
8	315900	305400	3%	295600	6%
TOTAL	2608200	2390700	8%	2335100	10%

Fonte: Rodrigues, A.R. (2021)

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que para as chuvas de menores volumes precipitados (menores durações), a técnica apresenta melhor eficiência, sendo então utilizada com maior frequência, para as quais os investimentos do proprietário não seriam muito elevados e a problemática na drenagem seria minimizada. É notável a influência em relação ao tamanho da área impermeável nas sub-bacias, afetando diretamente os valores do escoamento superficial.

Tal técnica apresenta a vantagem do armazenamento das águas de chuva para outros fins não potáveis, porém para um curto período de tempo. Deve-se orientar a população para realizar o esvaziamento dos reservatórios após o período de precipitação intensa, para que o mesmo esteja apto para receber as próximas precipitações.

A função educacional pode ser aplicada com essa técnica, no sentido de conscientizar a população de sua responsabilidade pela sustentabilidade da drenagem urbana, com diminuição dos impactos hidrológicos resultantes da ocupação do solo e a importância de ações individuais. Para chuvas com maiores tempo de retorno (maior volume) as propostas de atuação devem ser em conjunto com os poderes públicos e privado, para aplicação de técnicas compensatórias em áreas públicas, como parques e praças, estacionamentos, inclusive associadas a paisagens multifuncionais. Em relação à precisão no cálculo do escoamento obtido nesta etapa da simulação, todos os erros de continuidade foram abaixo de 1%, apresentando-se de forma satisfatórias e com erros menores que 10%. Tais valores baixos indicam uma boa qualidade nos resultados da simulação.



4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a aplicação a técnica de desenvolvimento de baixo impacto microrreservatórios de retenção em lotes, com um reservatório padrão de 5 m³, apresentaram reduções nos valores de pico. As sub-bacias que apresentam menor percentual de área impermeável, como a sub-bacia 1, apresentaram melhores resultados na redução do pico de vazão.

Para as sub-bacias com maiores índices de urbanização, como as sub-bacias 7 e 8, que apresentam aproximadamente 85% de área impermeável, os resultados mostram que os microrreservatórios proporcionam redução menor da vazão de pico. Dessa forma, é possível concluir que mesmo em áreas mais consolidadas, a técnica apresenta desempenho satisfatório, especialmente para as chuvas de menores volumes precipitados.

Uma sugestão para a prefeitura de Olinda é a discussão e aprovação de uma lei que incentive a utilização da técnica de armazenamento no lote.

5. REFERÊNCIAS

APAC- Agência Pernambucana de Águas e Climas.

GARGIULO, CARMELA; BATTARRA, ROSARIA; TREMITERRA, MARIA ROSA. *Coastal areas and climate change: A decision support tool for implementing adaptation measures*. Land Use Policy, v. 91, 1 fev. 2020.

IPCC. Technical Summary. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2021.

MELO, M. J. V. de. *Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na Bacia do Rio Fragoso na cidade de Olinda*. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologias e Geociências. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife-PE, 172 f. 2007.

RECIFE, 2015. *Lei nº 18.112* - Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências.

RODRIGUES, ARIVÂNIA BANDEIRA. *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de inundações na Bacia do Rio Fragoso – Olinda/PE*. 2021. 165 folhas, il., gráfs., tabs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pela bolsa de estudo e apoio à pesquisa.