

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO AÇUDE SANTO ANASTÁCIO, EM FORTALEZA -CEARÁ

Raul Araujo Germano¹; Janine Brandão de Farias de Mesquita²

Abstract: Urban drainage systems are essential infrastructures for stormwater runoff, but their efficiency can be compromised by unplanned urbanization and climate change. This study investigates the hydrological-hydraulic modeling of the Santo Anastácio Reservoir (ASA) basin in Fortaleza, using the PCSWMM software to assess the impacts of climate change on the drainage system of the Santo Anastacio Reservoir basin in Fortaleza-Ceará, considering the IPCC AR5 climate scenarios. Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves were analyzed in future climate scenarios, based on global circulation models for RCP 4.5 and RCP 8.5. The IDF curves generated indicated that the RCP 8.5 scenario presents lower median precipitation compared to RCP 4.5. Models such as CESM1-CAM5-8.5 projected more intense extreme events, while bcc-csm1-4.5 had more conservative projections. Hydraulic modeling revealed that the ASA sub-basin is at risk of socio-environmental impacts due to the undersizing of the drainage system, resulting in flooding and overloading of conduits. Similarity was observed between the IDF equation proposed for Fortaleza in the literature and that obtained by the software. The scenarios with greater rainfall intensity presented the highest runoff coefficients and flood volumes. The hyetogram analysis confirmed that the symmetrical distribution of 24-hour storms used by PCSWMM represents the simulated events well. It is concluded that the adoption of IDF curves adapted to the future climate is essential to improve urban drainage infrastructure and mitigate the risks associated with extreme events.

Resumo: Os sistemas de drenagem urbana são infraestruturas essenciais para o escoamento de águas pluviais, mas podem ter sua eficiência comprometida pela urbanização desordenada e pelas mudanças climáticas. Este estudo investiga a modelagem hidrológica-hidráulica da bacia do Açude Santo Anastácio (ASA), em Fortaleza, utilizando o software PCSWMM para avaliar os impactos das mudanças climáticas no sistema de drenagem da bacia do açude Santo Anastacio de Fortaleza-Ceará considerando os cenários climáticos do IPCC AR5. Foram analisadas curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) em cenários climáticos futuros, com base nos modelos globais de circulação para os RCP 4.5 e RCP 8.5. As curvas IDF geradas indicaram que o cenário RCP 8.5 apresenta menor mediana de precipitação em comparação ao RCP 4.5. Modelos como o CESM1-CAM5-8.5 projetaram eventos extremos mais intensos, enquanto o bcc-csm1-4.5 teve projeções mais conservadoras. A modelagem hidráulica revelou que a sub-bacia do ASA apresenta risco de impactos socioambientais devido ao subdimensionamento do sistema de drenagem, resultando em inundações e sobrecarga dos condutos. Foi observada similaridade entre a equação IDF da literatura proposta para-Fortaleza e a obtida pelo software. Os cenários com maior intensidade de chuva apresentaram os maiores coeficientes de escoamento e volumes de inundação. A análise do hietograma confirmou que a distribuição simétrica de tempestades de 24 horas utilizada pelo PCSWMM representa bem os

1) Universidade Federal do Ceará (UFC), campus Crateús: Rua Professora Machadinha Lima, SN, Crateús, Ceará. Email: raularaajo06@alu.ufc.br

2) Universidade Federal do Ceará (UFC), campus Crateús: Rua Professora Machadinha Lima, SN, Crateús, Ceará. Email: janine@crateus.ufc.br

eventos simulados. Conclui-se que a adoção de curvas IDF adaptadas ao clima futuro é fundamental para aprimorar a infraestrutura de drenagem urbana e mitigar os riscos associados a eventos extremos.

Palavras-Chave – IDF; Mudanças Climáticas; Drenagem Urbana

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico, conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS, 1958), é essencial para garantir a qualidade de vida e a preservação ambiental, abrangendo quatro serviços: abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. No Brasil, o crescimento urbano acelerado, especialmente entre as décadas de 1960 e 1990, ocorreu de forma desordenada, agravando os problemas relacionados à drenagem das águas pluviais.

A drenagem urbana é diretamente impactada por fatores como relevo, clima, impermeabilização do solo e, mais recentemente, pelos efeitos das mudanças climáticas. Segundo o IPCC (2014), os eventos climáticos extremos têm se intensificado, alterando o ciclo hidrológico e aumentando os riscos de inundações, alagamentos e danos socioambientais, especialmente em áreas densamente povoadas como Fortaleza (SNIS, 2021; QIANQIAN ZHOU *et al.*, 2019), evidenciando a insuficiência dos sistemas de drenagem atuais.

Os sistemas de drenagem urbana (SDUs), geralmente projetados com base em séries históricas (ARNBJERG *et al.*, 2013), tornam-se vulneráveis frente às incertezas climáticas futuras, como chuvas extremas e variações no regime hídrico (LI *et al.*, 2023). Assim, a modelagem hidrológica-hidráulica surge como uma ferramenta essencial para simular cenários de precipitação, avaliar riscos e propor soluções adaptativas (MESQUITA, 2022; CANHOLI, 2016).

Neste contexto, este estudo justifica-se pela necessidade de avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre o sistema de drenagem da bacia do Açude Santo Anastácio (ASA), em Fortaleza-CE, visando subsidiar políticas públicas e estratégias de adaptação. Para isso, serão aplicados modelos hidrológicos considerando os cenários climáticos do IPCC (RCP 4.5 e RCP 8.5) e diferentes equações de intensidade-duração-frequência (IDF), com o intuito de analisar as respostas hidrológicas, simular áreas de inundaçao e comparar os resultados com as IDFs locais.

O crescimento urbano desordenado impacta diretamente os sistemas de drenagem, devido à impermeabilização do solo e à alteração dos padrões hidrológicos, elevando os volumes de escoamento e o risco de inundações (WANG *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2023). Esses problemas são agravados pela falta de planejamento urbano e pelas mudanças climáticas, que intensificam eventos extremos, como chuvas intensas e enchentes (IPCC, 2023; QIANQIAN ZHOU *et al.*, 2019). A elevação do nível do mar e a maior frequência de tempestades tornam as áreas costeiras, como Fortaleza, especialmente vulneráveis (AZEVEDO, 2016).

Para enfrentar esses desafios, o uso de modelos climáticos globais (GCMs) é essencial no planejamento, permitindo projetar cenários futuros de precipitação e avaliar seus impactos sobre os sistemas urbanos (IPCC, 2007; LUTZ *et al.*, 2016). Paralelamente, as curvas intensidade-duração-frequência (IDF) são fundamentais no dimensionamento das estruturas hidráulicas, mas precisam ser constantemente atualizadas frente às mudanças climáticas (SCHARDONG *et al.*, 2014).

A modelagem hidrológica e hidráulica, por meio de ferramentas como SWMM e PCSWMM, permite simular o comportamento dos sistemas de drenagem em diferentes cenários, auxiliando no planejamento, na mitigação dos riscos de inundaçao e na formulação de soluções sustentáveis (MESQUITA *et al.*, 2020; AKHTER, 2016).

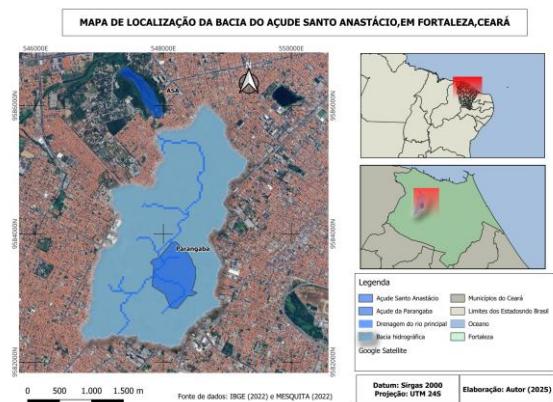
2 METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente trabalho segue um conjunto de etapas para realizar a pesquisa, iniciando da delimitação da área de estudo até a interpretação dos resultados obtidos. Este estudo avaliou os efeitos de cenários de mudanças climáticas sobre o sistema de drenagem urbana da sub-bacia do ASA por meio de simulações no software PCSWMM. Foram utilizados seis Modelos de Circulação Global (GCMs): bcc-csm1, CanESM2, CCSM4, CESM1-CAM5, inmcm4 e MIROC5, considerando os cenários de emissões RCP 4.5 (mitigação moderada) e RCP 8.5 (alta emissão de gases de efeito estufa). Além disso, foram incluídas simulações com curvas IDF com base na series históricas da estação do Pici e com a equação IDF de Silva *et al.* (2013).

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Açude Santo Anastácio (ASA), localizada na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil, (figura2) entre as coordenadas 3°44'36" S e 38°34'13" W. A bacia possui área de 611,27 ha, abrangendo nove bairros urbanos, caracterizados por ocupação densa e impactos antrópicos significativos, como lançamento irregular de resíduos e efluentes não tratados. O clima local é tropical quente subúmido, com temperatura média anual entre 26 e 28°C, precipitação média de 1.338 mm/ano, concentrada entre janeiro e maio, e evaporação média anual de 1.435,2 mm. (MESQUITA *et al.*, 2022).

Figura 2- Mapa de localização da bacia do ASA.



2.2 COLETA DE DADOS

A modelagem foi realizada no software **PCSWMM**, utilizando dados hidrológicos e geoespaciais provenientes de estudos anteriores (Mesquita *et al.* 2022). A base de dados inclui arquivos de configuração do modelo (.inp) e dados geográficos (.shp) com subdivisões da bacia, além de dados meteorológicos registrados na estação climatológica da Universidade Federal do Ceará (UFC) — Campus do Pici.

Foram adotadas 14 equações IDF para os cenários simulados, sendo 12 derivadas de modelos de circulação global (GCMs) ajustados aos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 Sabóia *et al.* (2017), uma equação histórica desenvolvida por Silva *et al.* (2013) para Fortaleza, e uma equação IDF gerada diretamente pelo software a partir da série histórica local de 30 anos. O ajuste dos parâmetros das equações foi realizado para um tempo de retorno fixo de 10 anos.

As equações IDF que foram utilizadas no presente trabalho propostas por Sabóia *et al.* (2017) são apresentadas no quadro 1

Quadro 1: Quadro 1- Equações IDF derivadas dos dados gerados pelos modelos de circulação global referentes aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (SABÓIA et al., 2017).

MODELOS	RCP 4.5	RCP 8.5
Bcc-csm1	$i = \frac{734.8541 * T^{0.873}}{(t + 20.6649^{0.7476})}$	$i = \frac{788.4440 * T^{0.0876}}{(t + 20.8779^{0.7278})}$
CanESM2	$i = \frac{702.8991 * T^{0.1427}}{(t + 19.1330^{0.6931})}$	$i = \frac{691.5597 * T^{0.1962}}{(t + 16.7853^{0.6415})}$
CCSM4	$i = \frac{620.9295 * T^{0.2544}}{(t + 17.3028^{0.6489})}$	$i = \frac{686.3308 * T^{0.2026}}{(t + 14.2544^{0.6055})}$
CESM1-CAM5	$i = \frac{736.9068 * T^{0.1624}}{(t + 14.4142^{0.6079})}$	$i = \frac{876.0093 * T^{0.2255}}{(t + 7.6045^{0.5107})}$
Inmcm4	$i = \frac{541.0216 * T^{0.3291}}{(t + 12.2910^{0.5787})}$	$i = \frac{762.2614 * T^{0.1619}}{(t + 19.7644^{0.6843})}$
MIROC5	$i = \frac{639.8823 * T^{0.2003}}{(t + 15.9149^{0.6361})}$	$i = \frac{647.7016 * T^{0.1897}}{(t + 19.6886^{0.7040})}$

Fonte: Adaptado de Sáboia et al. (2017).

Ademais a equação IDF também utilizada no trabalho, desenvolvida por (Silva et al. 2013) é apresentada na equação 3:

$$i = \frac{2345,29 * T^{0,173}}{(t + 28,31)^{0,904}}$$

Também, foi plotada uma curva IDF no PCSWMM a partir da série de precipitação de 30 anos da estação metrológica do PICI e obtido os valores das variáveis.

2.3 Simulação de cenários no PCSWMM

A simulação dos cenários hidrológico-hidráulicos considerou a geração de hietogramas sintéticos pelo método de Chicago, aplicado dentro da abordagem estatística de Gumbel simétrica. Foram avaliadas as condições de sobrecarga dos condutos e geração de hidrogramas para cada cenário. A definição de sobrecarga considerou critérios como profundidade da lâmina d'água superior à altura do conduto e vazões excedendo a capacidade hidráulica do sistema.

Ademais, a partir da inserção das equações de chuvas foram estabelecidos 14 cenários diferentes para avaliar os impactos das mudanças climáticas na bacia do ASA. Além disso, compararam-se os cenários com a equação de Silva et al. (2013) proposta para fortaleza com a do software. Logo, esses cenários são: Cenário 1: Modelo bcc-csm1- 4.5; Cenário 2: Modelo bcc-csm1- 8.5; Cenário 3: Modelo CanESM2 - 4.5; Cenário 4: Modelo CanESM2 - 8.5; Cenário 5: Modelo CCSM4 - 4.5; Cenário 6: Modelo CCSM4 - 8.5; Cenário 7: Modelo CESM1-CAM5 - 4.5; Cenário 8: Modelo CESM1-CAM5 - 8.5; Cenário 9: Modelo inmcm4 - 4.5; Cenário 10: Modelo inmcm4 - 8.5; Cenário 11: Modelo MIROC5 - 4.5; Cenário 12: Modelo MIROC5 - 8.5; Cenário 13: Equação IDF proposta por Silva et al. (2013); Cenário 14: Equação IDF gerada pelo software a partir da série histórica do Pici.

Adicionalmente, foi aplicada a ferramenta Flood Inundation Analysis do PCSWMM para a análise espacial das áreas suscetíveis à inundação. Essa análise foi baseada na integração dos dados do modelo hidráulico com um Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolução (escala 1:5000), obtido por levantamento aerofotogramétrico (Mesquita, 2022). Este procedimento possibilitou avaliar, de forma espacializada, os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre o sistema de drenagem da bacia do ASA, subsidiando o desenvolvimento de estratégias de adaptação e planejamento urbano resiliente.

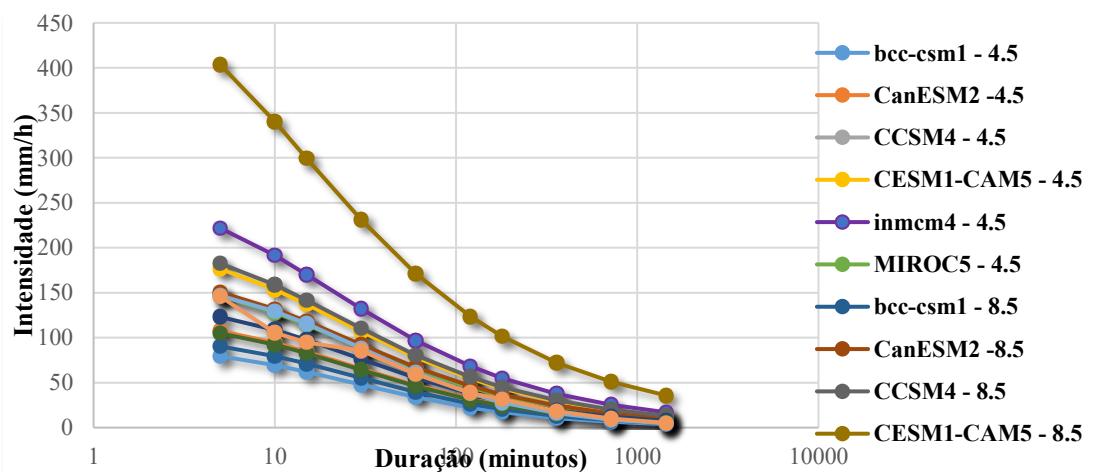
3. RESULTADOS

3.1 Curva Intensidade-Duração-Frequência no PCSWMM

O software PCSWMM cria curvas IDF com base nos valores a, b e c para períodos de retorno especificados. Dessa forma, a Figura 3 apresenta um compilado de todas as IDF estudadas no presente trabalho.

As equações IDF inseridas no software são todas do tipo distribuição simétrica de tempestades 24hs. No manual do PCSWMM revela que a principal suposição feita no desenvolvimento da distribuição simétrica de 24 horas é que os valores de precipitação para todas as durações (de 5 minutos a 24 horas) para um único evento de tempestade no período de retorno ocorrem dentro do mesmo período de 24 horas e que essa distribuição é baseada em dados de precipitação registrados (como o NOAA Atlas 14) e a quantidade máxima em um intervalo de intervalos.

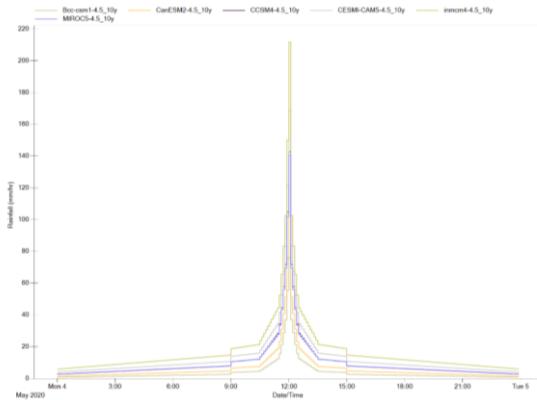
Figura 3 - Compilado de todas as IDF analisadas.



3.2 Hietograma

Os valores do hietograma composto são aninhados centralmente e colocados simetricamente em torno da hora 12 da duração de 24 horas. O software depende de uma data pré-definida para realizar as simulações, contudo como o evento é derivado curvas IDF do tipo simétrico, ele independe de uma data específica já que se trata de precipitações máximas. Na Figura 4 é possível observar o hietograma gerado pelo o PCSWMM referente as tempestades de projetos estudadas para o RCP 4.5, como demonstração do padrão geral. Um hietograma foi obtido para todos os cenários avaliados.

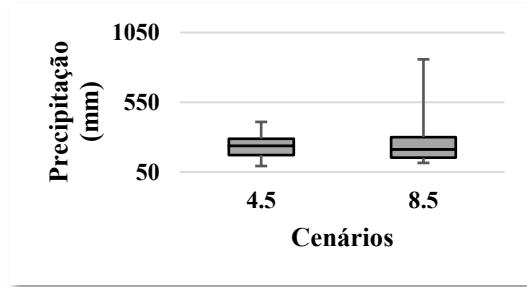
Figura 4- Hietograma dos cenários RCP 4.5



3.3 Modelagem Hidráulica

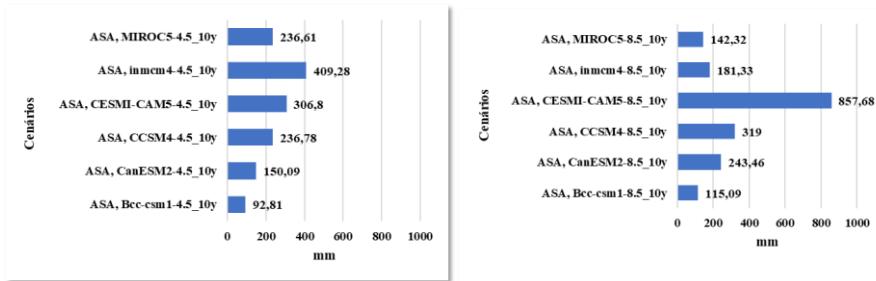
A análise do gráfico boxplot (Figura 5) revelou que o RCP 4.5 apresentou distribuição mais concentrada, com valores próximos da mediana (~235 mm) e o RCP 8.5 mostrou maior dispersão, com eventos extremos mais frequentes, mas mediana menor (~210 mm), sugerindo redução da precipitação média, mas aumento na variabilidade.

Figura 5- Boxplot da precipitação total na sub-bacia do ASA



Desse modo, na Figura 6 é exibido a precipitação total em valores que ocorre na bacia do ASA para todos os cenários de mudanças climáticas estudados e na Figura 7 exibe coeficiente máximo de escoamento da sub-bacia.

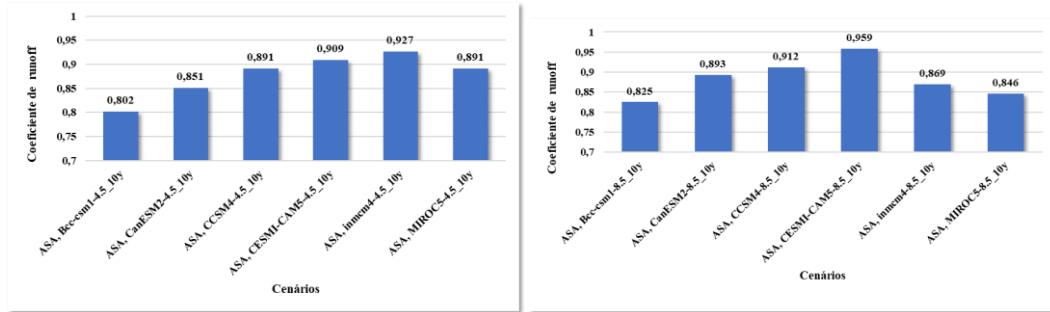
Figura 6- Precipitação total máxima da sub-bacia do ASA



Ainda é possível observar por meio da figura 6 a precipitação média entre os 12 cenários simulados foi de 274,27 mm, com destaque para o modelo CESMI-CAM5-8.5, que apresentou os valores máximos extremos (até 857,68 mm). Também é revelado que para os GMCs referente aos RCP 4.5 a maioria dos modelos produziu séries de precipitações menores e para RCP 8.5 precipitações extremas maiores. Comportamento similar foi observado por Silva (2022) em que a autora destaca que analisando os cenários RCP 8.5 e RCP 4.5. E verificado que o RCP 8.5 apresenta maiores valores de precipitação extrema quando da adoção do RCP 4.5.

Além disso, é identificado que os resultados dos dados gerados pelos modelos contêm muitas incertezas. Essas imprecisões são inerentes ao processo de modelagem das mudanças climáticas (Sáboia, 2017). Da mesma forma, Alamdari *et al.* (2020) observaram que as incertezas dos estudos decorrem das suposições da emissão futura de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5), modelos climáticos, estrutura e parametrização do SWMM e calibração do SWMM.

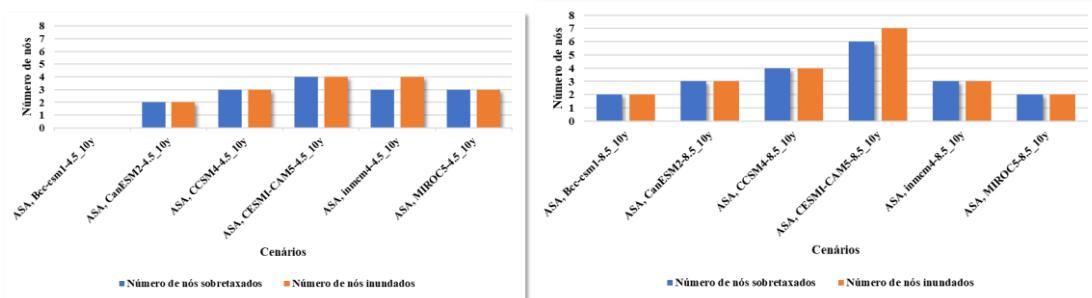
Figura 7 - Coeficiente máximo de escoamento da sub-bacia do ASA.



Os coeficientes máximos de escoamento variaram de 0,802 a 0,959, com valores maiores sob o RCP 8.5, evidenciando maior escoamento superficial devido à maior intensidade de precipitação (Figura 7). Esse comportamento está alinhado com a literatura (NOBREGA, (2014), que relaciona aumento da chuva com maior volume de escoamento.

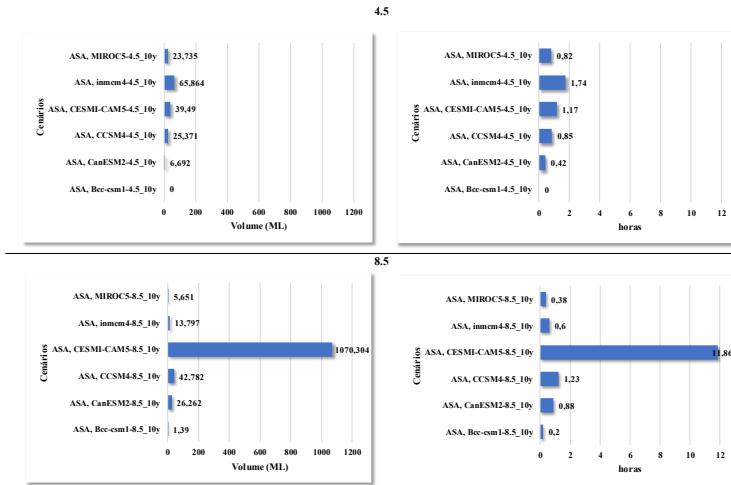
Ademais, a Figura 8 exibe a quantidade de PVs (nós) que tiveram sobretaxa máxima e inundação em cada cenário. A sobretaxa consiste na altura máxima computada atingida pela linha de carga hidráulica durante a simulação, medida a partir da coroa do conduíte conectado mais alto, já a inundação se refere o volume total de água que saiu do topo do nó, esteja ele empoçado ou não. Consoante a isso, constatou-se que apenas no cenário Bcc-Csm1-4.5 não apresenta pontos de inundação, os demais cenários simulados todos apontam pontos de inundação. Foi constatada relação direta entre a intensidade das chuvas e o número de nós inundados e condutos sobrecarregados

Figura 8 - Nós sobretaxados e inundados na sub-bacia do ASA.



Ainda é possível identificar por meio da Figura 9 o volume total computado de água transbordando no divisor de fluxo durante a simulação e a quantidade de horas de inundação na bacia do ASA. É notado a variação de acordo com os modelos. Sobre isso, Bibi *et al.* (2023) analisam que mudanças significativas no volume de inundação com relação ao período atual são dependentes do tipo de modelos climáticos. Analisando ainda a Figura 9 é notado que o CESMI-CAM5-8.5 apresenta um resultado muito superior do que aos demais, e o bcc-csm1 foi o único que não apresentou volume de inundação. Observa-se também por meio da Figura 9 a duração computada da inundação durante a simulação em horas, sobre isso é notado a relação diretamente proporcional entre o volume e o total de horas inundadas, uma vez que quanto maior o volume, maior será a duração da inundação.

Figura 9 - Volume e horas de inundação do nó na sub-bacia do ASA.



Ainda, é percebido que os modelos GCMS que mais se aproximaram do cenário simulado com base nos dados da estação meteorológica do Pici foram: bcc-csm1-8.5 e o MIROC5-8.5, sendo ambos do RCP 8.5, enquanto no RCP 4.5 foi o CanESM2. Dessa maneira, esses cenários de mudanças climáticas supracitados, podem futuramente serem utilizados para realizar adaptações no sistema de drenagem da bacia do ASA.

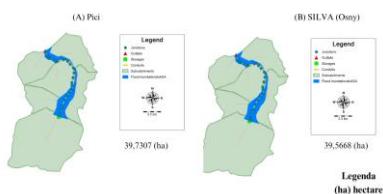
A maioria dos modelos aponta para aumento da intensidade e frequência de eventos extremos de chuva com o RCP 8.5, o que compromete significativamente o desempenho do sistema de drenagem atual. Modelos como o CESMI-CAM5-8.5 destacam-se por sua severidade e devem ser considerados como cenários críticos para planejamento urbano. As simulações evidenciam a necessidade urgente de reavaliação e redimensionamento da infraestrutura de drenagem da sub-bacia do ASA para aumentar a resiliência frente às mudanças climáticas. O trabalho reconhece a presença de incertezas nas projeções dos GCMs e recomenda o uso de abordagens probabilísticas e análise de incerteza nas curvas IDF futuras. Estudos como o de Sabóia. (2017) e Bibi *et al.* (2023) reforçam que os sistemas baseados em dados históricos podem se tornar obsoletos sob novas condições climáticas, aumentando o risco de alagamentos, impactos sociais e ambientais significativos.

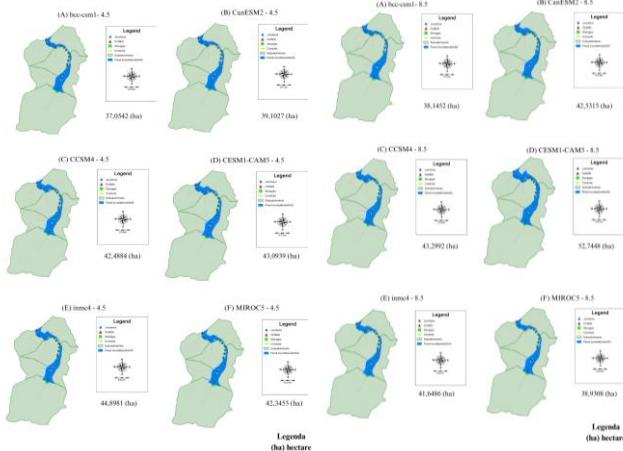
4.4 Análise da inundação

A bacia hidrográfica do ASA possui uma área total de 611,27 hectares (MESQUITA, 2022). O estudo avaliou a extensão e distribuição espacial das áreas inundadas em diferentes cenários de mudanças climáticas, utilizando os modelos globais de circulação atmosférica (GCMs) com base nos cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.5, além das curvas IDF de (Silva. 2013) e da estação meteorológica do Pici.

Ademais, é possível visualizar a distribuição da mancha de inundação para os modelos de circulação global referentes aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 na Figura 10. Ainda, também na Figura 10 exibe a comparação da mancha de inundação entre os cenários gerados a partir da curva IDF proposta por Silva *et al.* (2013), e a IDF gerada pelo PCSWMM com os dados de precipitação do Pici.

Figura 15: - Mancha de inundação para os cenários





Logo, a análise de inundação é uma estimativa de uma possível área de inundação total na bacia do ASA, considerando que o escoamento superficial de toda água da bacia fosse drenada para a lagoa da Parangaba (à montante do exutório) e para a calha do canal de macrodrenagem, conforme a parametrização proposta por Mesquita e Lima Neto (2022).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou os impactos das mudanças climáticas no sistema de drenagem da bacia do Açude Santo Anastácio, em Fortaleza-CE, por meio da aplicação de equações Intensidade-Duração-Freqüência (IDF) derivadas de seis modelos climáticos globais (GCMs): bcc-CSM1, CanESM2, CCSM4, CESM1-CAM5, INMCM4 e MIROC5, sob os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. As equações foram comparadas com dados históricos da estação meteorológica do Pici.

A simulação hidrológico-hidráulica, realizada no software PCSWMM, indicou aumento nas vazões máximas e nos volumes escoados nos cenários, com variações quanto à intensidade e à área de inundação. Os resultados demonstraram que quanto maior a concentração de gases de efeito estufa tende a intensificar os eventos extremos, corroborando estudos prévios. Foi constatado que a bacia do ASA apresenta elevada suscetibilidade a inundações, agravada pela intensa urbanização e elevado grau de impermeabilização. As simulações mostraram alto coeficiente de escoamento, pontos recorrentes de inundação e comprometimento dos sistemas existentes, com riscos à infraestrutura e ao meio ambiente.

Conclui-se que, frente aos cenários climáticos futuros, a bacia do ASA demanda intervenções estruturais e não estruturais, além de estudos complementares que considerem medidas compensatórias, diferentes tempos de retorno e a expansão da modelagem para toda a rede de drenagem.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento e a UFC campus de Crateús.

REFERÊNCIAS

- AKHTER, Muhammad Saleem; HEWA, Guna Alankarage. The use of PCSWMM for assessing the impacts of land use changes on hydrological responses and performance of WSUD in managing the impacts at Myponga catchment, South Australia. *Water*, v. 8, n. 11, p. 511, 2016.
- ALAMDARI, Nasrin et al. Evaluating the impact of climate change on water quality and quantity in an urban watershed using an ensemble approach. *Estuaries and Coasts*, v. 43, p. 56-72, 2020.

ARNBJERG-NIELSEN, K.; OLSSON, J.; BEECHAM, S.; PATHIRANA, A.; BÜlow GREGERSEN, I.; MADSEN, H.; NGUYEN, V. T. V. Impactos das mudanças climáticas em extremos de precipitação e sistemas de drenagem urbana: uma revisão. *Water Science and Technology*, v. 68, p. 16-28, 2013.

AZEVEDO DE ALMEIDA, B.; MOSTAFAVI, A. Resiliência de sistemas de infraestrutura à elevação do nível do mar em áreas costeiras: impactos, medidas de adaptação e desafios de implementação. *Sustentabilidade*, v. 8, n. 11, p. 1115, 2016. <https://doi.org/10.3390/su8111115>.

BIBI, Takele Sambeto et al. Application of PCSWMM for assessing the impacts of urbanization and climate changes on the efficiency of stormwater drainage systems in managing urban flooding in Robe town, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 45, p. 101291, 2023.

CANHOLI, Aluísio Pardo. *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

IPCC. Resumo para formuladores de políticas. Em: *Mudanças Climáticas 2013: A Base da Ciência Física*. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido; Nova York, NY, EUA, 2013.

LI, Jiada et al. An event-based resilience index to assess the impacts of land imperviousness and climate changes on flooding risks in urban drainage systems. *Water*, v. 15, n. 14, p. 2663, 2023.

LIU, Chunlu; LI, Yan; LI, Jun. Geographic information system-based assessment of mitigating flash-flood disaster from green roof systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 64, p. 321-331, 2017.

LUTZ, A. F. et al. Selecionando modelos climáticos representativos para estudos de impacto de mudanças climáticas: uma abordagem avançada de seleção baseada em envelope. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 12, p. 3988-4005, 2016.

MESQUITA, Janine Brandão de Farias; LIMA NETO, Iran Eduardo. Coupling hydrological and hydrodynamic models for assessing the impact of water pollution on lake evaporation. *Sustainability*, v. 14, n. 20, p. 13465, 2022.

MESQUITA, Janine Brandão Farias; PEREIRA, Silvano Porto; LIMA NETO, Iran Eduardo. Modelagem da drenagem urbana e avaliação das cargas bacteriológicas na Vertente Marítima de Fortaleza, Ceará. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, p. 205-216, 2020.

QIANQIAN, Z.; GUOYONG, L.; JIONGHENG, S.; YI, R. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of The Total Environment*, v. 658, p. 24-33, 2019. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SABÓIA, Marcos Abílio Medeiros de et al. Estimativa do impacto das mudanças climáticas no sistema de drenagem urbana localizado em bairros de baixas latitudes: um estudo de caso em Fortaleza-CE. *RBRH*, v. 00, p. e21, 2017.

SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. K.; SIMONOVIC, S. P. Atualização da intensidade duração-frequência para a cidade de São Paulo sob efeito de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 176-185, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p176-185>.

SILVA, INIMIGO; PALÁCIO JÚNIOR, F. F. R.; CAMPOS, J. N. B. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. *Revista DAE*, v. 192, p. 48-59, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.106>. Acesso em: 24 jul. 2025.

WANG, J.; HU, C.; MA, B.; MU, X. Impacto da rápida urbanização nos processos hidrológicos em Zhengzhou, China. *Água*, 12 (7), 1870, 2020. <https://doi.org/10.3390/w120718>.