

COMPARAÇÃO DO RISCO DO NEXO CHEIA – SANEAMENTO – SAÚDE PÚBLICA PARA O CENÁRIO ATUAL E CENÁRIO FUTURO COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO – SP

Gabriel Gonçalves Faria ¹ (IC), Marina Batalini de Macedo (PQ)²

¹ Universidade Federal de Itajubá, ² Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Estruturas. Exposição. População. Riscos. Vulnerabilidade.

Introdução

Segundo dados do INMET (2022), os eventos meteorológicos extremos vem se tornando cada vez mais frequentes no cotidiano das cidades, a medida em que as áreas densamente urbanizadas crescem, a ocorrência de chuvas torrenciais, aliadas ao acúmulo de lixo nas ruas das grandes metrópoles do país, ocasionam inundações em diferentes pontos das cidades. A ocorrência desses eventos hidrológicos traz ainda prejuízos as indústrias, comércios, estruturas de saneamento e a população, além de ocasionar doenças e perdas humanas por conta da exposição a água (HERNANDEZ & SZIGETHY, 2020). Ainda, segundo Hernandez e Szigethy (2020), nos tempos atuais esses eventos hidrológicos estão sendo potencializados por conta do aumento da impermeabilidade do solo advinda do crescimento acelerado das áreas urbanas, o que faz com que as precipitações nos pontos mais altos das cidades cheguem rapidamente nos pontos de menor altitude.

Assim, entender e buscar por alternativas para solucionar ou amenizar os efeitos dos eventos extremos de precipitação, tornam – se cada vez mais necessários para que os gestores possam lidar com esse desafio no presente e também no futuro (DEBORTOLI *et al.*, 2017).

Em diversas partes do mundo diferentes estudos vem sendo desenvolvidos a fim de quantificar e avaliar, os impactos resultantes de precipitações intensas e o riscos econômicos e sociais que trazem ao transporte (BUARQUE *et al.*, 2020; LAGO *et al.*, 2021). Contudo, ainda são poucas as pesquisas voltados a contabilização dos impactos das inundações em estruturas de saneamento e abastecimento (MACEDO *et al.*, 2022).

Buscando uma melhor forma de identificar relações causais entre eventos extremos, os problemas gerados nas infraestruturas e os impactos sociais resultantes, desenvolveu – se o modelo conhecido como avaliação por nexos que segundo Macedo *et al.* (2022), poder ser utilizado para avaliar os impactos das inundações em estruturas de saneamento e na saúde e bem – estar.

Neste viés, o presente trabalho tem como objetivo gerar e analisar mapas de risco para o nexo cheia – saneamento

– saúde pública, realizando um comparativo entre o cenário atual e futuro (com mudanças climáticas), com diferentes tempos de retorno, para uma precipitação de trinta minutos, utilizando as séries de chuvas histórica da cidade Brasileira de São Paulo – SP. Por fim, o presente trabalho buscar compreender quais serão os desafios enfrentados por tomadores de decisão, além de fornecer informações que auxiliem na implementação de medidas que protejam as estruturas de saneamento e abastecimento da cidade e preservem tanto a saúde, quanto a qualidade de vida da população durante um evento hidrológico extremo.

Metodologia

Inicialmente, foi necessário a definição de alguns parâmetros, utilizados nos cálculos de precipitação para a cidade de São Paulo. Estipulou-se que o tempos de retornos (TR's) seriam de 5, 10, 25 e 50 anos para um tempo de precipitação de 30 minutos e para criação das chuvas de projeto utilizou – se a equação de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) histórica da cidade de São Paulo, demonstrada a seguir.

$$IDF = \frac{K \times TR^m}{(t+t_0)^n} \quad (1)$$

Onde:

IDF = Intensidade, duração e frequência máxima média de precipitação (mm/h);

TR = Tempo de retorno (Anos);

t = Tempo de duração das chuva (minutos); e

(K, m, t₀ e n) = Parâmetros ajustados de acordo com os dados pluviométricos da localidade.

Para realizar as projeções de chuvas no cenário Atual, alguns parâmetros foram definidos afim de atender os dados pluviométricos da localidade. Como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de projeção da série histórica para o cenário Atual da cidade de São Paulo

Cenário	Série	TRs (anos)	K	m	t ₀	n
Atual	Histórica	5	3463	0.17	22	1.03
Atual	Histórica	10	3463	0.17	22	1.03
Atual	Histórica	25	3463	0.17	22	1.03
Atual	Histórica	50	3463	0.17	22	1.03

Passando para as projeções das chuvas futuras com mudanças climáticas, foram utilizados os dados atualizados do Modelo Regional Climático (RCM) Eta-MIROC5 para o período de 2025 a 2050, que traz novos dados pluviométricos para o município (CHOU *et al.*, 2014; LYRA *et al.*, 2018) e são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de projeção da série Futura com mudanças climáticas para a cidade de São Paulo

Projeção	Correção	rep	Período	Distribuição	K	t0	m	n
MIROC5	MD	rcp45	2025 - 2050	Gumbel	862.90	12	0.27	0.76
MIROC5	PT	rcp45	2025 - 2050	Gumbel	808.76	12	0.28	0.76
MIROC5	MD	rcp85	2025 - 2050	Gumbel	872.62	12	0.24	0.76
MIROC5	PT	rcp85	2025 - 2050	Gumbel	875.42	12	0.25	0.76

Com os dados de entrada e utilizando a Equação da IDF histórica da cidade de São Paulo, calculou-se as chuvas de projeto para os diferentes TR's, para o cenário atual e futuro com mudanças climáticas. Para a distribuição gráfica dos valores obtidos utilizou-se o método dos Blocos Alternados Centralizados, que consiste em dividir o tempo de 30 minutos em intervalos iguais, identificando a maior precipitação e a centralizando.

Após a obtenção valores da intensidade da precipitação, passamos a utilizar o modelo de inundações CAFlood, do Centro de Sistemas Hídricos da Universidade de Exeter, juntamente com o Modelo Digital de Elevação (MDE) da cidade de São Paulo, obtido do levantamento de dados do satélite ALOS PALSAR, da Universidade do Alaska Fairbanks, em conjunto com a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço e com os dados dos coeficientes de rugosidade global.

Assim, com o processamento dos dados de entrada, gerou-se os primeiros mapas demonstrando a alturas das laminas d'água formadas e determinando que a rugosidade de Manning do município é de 0,02.

Em seguida, passou-se ao aprimoramento dos mapas através do software Qgis, utilizando a calculadora de Raster's, que tornou possível a retirada das manchas de inundação inferiores a 0,5 metros; os novos Raster's gerados nesse processo foram ainda transformados em camadas vetoriais e através do comando Buffer do Qgis, gerou-se as distancias das áreas de inundação, que segundo Macedo *et al.* (2022) são classificadas em riscos de inundação "alto", "médio" e "baixo".

Com os novos mapas gerados no software Qgis, realizou uma adaptação da tabela de descrição das variáveis de vulnerabilidade e exposição com seu alcance e classes, do trabalho de Macedo *et al.* (2021), substituindo o modelo de levantamento da distância da área de risco utilizados pelos autores, pelo obtido através do Qgis. Os restante dos dados foram mantidos de acordo com o artigo de Macedo *et al.* (2022) e são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição das variáveis de Vulnerabilidade e Exposição dividido em classes. Adaptado de Macedo *et al.* (2021)

Fator de Vulnerabilidade	Classe				
	Extremamente alto	Alto	Médio	Baixo	Extremamente baixo
Valor	4	3	2	1	0.5
Usos da terra	X	X	X	X	X
Declive		X	X	X	X
Grupo hidrológico do solo	X	X	X	X	X
Cobertura de abastecimento de água		X	X	X	
Cobertura de saneamento		X	X	X	
Recolha de resíduos		X	X	X	
Índice de vulnerabilidade social do Estado de São Paulo (IPVS)	X	X	X	X	
Cobertura de serviços de saúde	X	X	X	X	X
Taxa de mortalidade de menores de 5 anos		X	X	X	
Fator de Vulnerabilidade	Classe				
	Extremamente alto	Alto	Médio	Baixo	Extremamente baixo
Valor	4	3	2	1	0.5
Densidade populacional		X	X	X	
População total		X	X	X	
Distância da área de risco pela equação da IDF histórica		X	X	X	

Obs. Os dados relativos a cada uma das variáveis e infraestruturas analisadas foram obtidos no portal de dados abertos da União, do Estado de São Paulo, da cidade de São Paulo, do Centro da Metrópole, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do censo de 2010 do IBGE (último realizado no país até o momento).

Finalizada a captação de dados, realizou o cálculo da média, tanto para os itens descritos na Vulnerabilidade, quanto para os itens da Exposição no cenário Atual e para o Futuro com mudanças climáticas.

Por fim, pode-se unificar o mapa de Vulnerabilidade, com os mapas Exposição e com o Valor do Perigo (demonstrados na Tabela 4) calculado para a pesquisa. Através da Equação (2) descrita abaixo, gerou-se os mapas de risco para o nexos cheia – saneamento – saúde pública para a cidade de São Paulo.

Tabela 4 – Valor do Perigo para diferentes TR's

Tempo de Retorno - TR (Anos)	5	10	25	50
Perigo	3.5	3	2	1

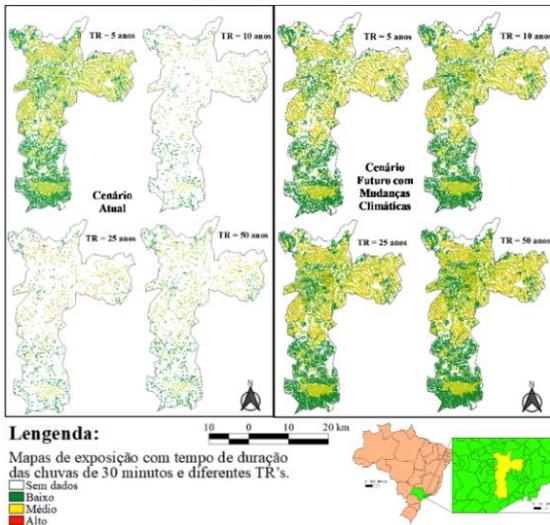
$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Exposição} \quad (2)$$

Resultados e discussão

De acordo com que foi descrito na metodologia, os primeiros mapas gerados foram relacionados ao fator de exposição para o cenário atual e futuro (com mudanças climáticas), para os tempos de retorno das chuvas de 5,

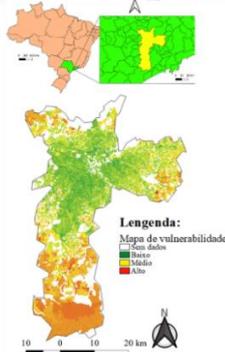
10, 25 e 50 anos e com tempo de duração das chuvas de 30 minutos, como demonstrados abaixo.

Figura 1 – Mapas de exposição para o cenário atual e futuro com tempo de duração chuvas de 30 minutos e diferentes TR's



Analisando o mapa de exposição, nota-se que no cenário atual, os resultados obtidos encontram-se com risco baixo e médio, aumentado à medida que o tempo retorno torna-se maior. A exceção fica para o TR5, que de certa forma já sofre interferência da urbanização crescente, diminuindo a permeabilidade do solo, que aliado a um curto período de tempo e volume elevado de precipitação, fez com que as manchas de inundação, atinjam pontos mais distantes. Esse aspecto foi novamente visto no cenário futuro com mudanças climáticas, onde notou-se que as manchas de inundação atingem maiores áreas. Em sequência ao trabalho, calculou-se a média de todas as camadas que formam o fator de vulnerabilidade. Os dados utilizados para obtenção dos resultados, foram os mesmos utilizados por Macedo *et al.* (2022).

Figura 2 – Mapa de vulnerabilidade de São Paulo – SP

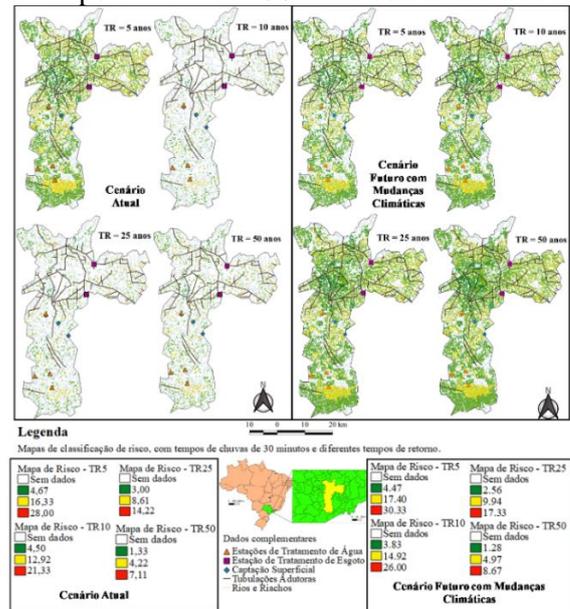


Analisando o mapa obtido, nota-se que as regiões mais vulneráveis são a região do entrono do centro, o leste e o

sul. Já a população menos vulnerável se encontra na região central da cidade.

Assim, com a obtenção do mapas de Exposição e Vulnerabilidade, pode-se multiplicar ambos fatores pelo valor do perigo demonstrado na Tabela 4 e utilizando a equação (2). O mapa resultante deste cálculo foi complementado pela colocação das Estações de Tratamento de Água (ETA) e Esgoto (ETE), Tubulações Adutoras, Captações Superficiais de Água, Rios e Riachos. Os mapas de risco são demonstrados a seguir.

Figura 3 – Mapas de risco para o nexo Cheia – Saneamento – Saúde pública (cenário atual e futuro) com tempo de chuva de 30 minutos e diferentes TR's



Analisando os resultados obtidos, para os mapas do cenário atual, pode-se perceber que as regiões que apresentam maior risco a inundação são o entorno do centro da cidade, a região leste e partes da região sul. Ainda são poucos os pontos afetados da cidade, com exceção do ocorrido no TR5, que demonstrou que alguns fatores já podem estar interferindo e ocasionado aumentos na recorrência de inundações. Quando enumeramos os fatores como a urbanização crescente da cidade, o acúmulo de lixo nas ruas e nos sistemas de drenagem, o aumento da impermeabilidade do solo, as mudanças no regime de chuvas locais (volumes elevados de precipitação, em curto período de tempo), aliados ao problema da maioria dos rios da cidade estarem canalizados, faz com que o alcance das manchas de inundação aumente, chegando a pontos mais distantes da cidade. Isto demonstra que as inundações causarão problemas de deslocamento, prejuízos econômicos em vários pontos, além de trazer riscos à saúde e aumento nos índices de mortalidade. Havendo desta forma a

necessidade de se investir em obras de prevenção e amenização dos seus efeitos desses eventos.

Esta constatação apresentou-se mais alarmante quando realizou-se a projeção futura com mudanças climáticas, se notou que nesse cenário as inundações se espalham por maiores áreas, ocorrendo com maior frequência e deixando a população mais exposta a inundações, que prejudicam sua qualidade de vida e bem – estar.

Analisou-se ainda os impactos ocorridos nas estruturas das ETA's e ETE's, nas captações de água e nas tubulações adutoras, demonstrando que a maioria dessas estruturas serão afetadas se ocorrem mudanças climáticas ou se nenhuma intervenção para proteção das estruturas for realizada. Como essas estruturas estão geralmente localizadas próximas aos rios e riachos que cortam a cidade, são áreas propensas a ocorrência de inundações e identificar esses pontos torna-se extremamente importante para a implantação de medidas de mitigação do risco.

Conclusões

Após analisar todos os aspectos apresentados nos mapas de risco do nexos cheia – saneamento – saúde, pode – se concluir que em algumas regiões da cidade de São Paulo no cenário atual já são suscetíveis as inundações e aos nexos estudado nesse projeto. Este cenário é ainda mais agravado quando se projeta o futuro levando em consideração as mudanças climáticas, pois esses eventos se tornaram mais comuns e atingem maiores áreas, o que prejudicará as estruturas apresentadas na pesquisa e também a qualidade de vida da população, que ficará mais tempo expostas as inundações e por consequência mais vulnerável a doenças.

Graças a este estudo, foi possível gerar informações importantes para um tomador de decisão ou para órgãos de gestão da cidade, o que permitirá a tomada de decisões mais assertivas, nas ações de prevenção e minimização dos impactos decorrentes de inundações. Fornecendo assim benéficos sociais, econômicos para a cidade e contribuindo a saúde e bem – estar da população.

Outros fatores que deverão ser estudados no futuro são a influência do crescimento urbano e o aumento da impermeabilidade do solo, a ocorrência das chuvas torrenciais e como evitar o acúmulo de lixo nas redes de drenagem, pois esses fatores são cruciais para diminuir as inundações na cidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que por meio de sua bolsa de Iniciação Científica forneceu

condições para o desenvolvimento deste projeto; a infraestrutura fornecida pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), a orientadora Professora Doutora Marina Batalini de Macedo e aos nossos familiares e amigos que sempre nos forneceram apoio.

Referências

- BUARQUE, A. C. S.; BHATTACHARYA-MIS, N.; FAVA, M. C.; SOUZA, F. A. A.; MENDIONDO, E. M. (2020). Using historical source data to understand urban flood risk: a sociohydrological modelling application at Gregório Creek, Brazil. **Hydrological Social Journal**, 65(7), 1075 – 1083.
- CHOU, S. C., LYRA, A., MOURÃO, C., DEREZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J., ... & CAMPOS, D. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n.5, p. 512-525, 2014.
- DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENCO, J. A.; RODRIGUES, R. R. 2017. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in context of climate change. **Natural Hazards**, 86, 557-582.
- HERNANDEZ, L.C.; SZIGETHY, L. (2021). Controle de Enchentes: Exemplos do uso da tecnologia e inovação para o controle de enchentes. **IPEA – Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade**, 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes> . Acesso em: 05 set. 2023.
- Eventos extremos: chuvas intensas e acima da média foram os destaques de novembro de 2022 no Brasil. **INMET – Instituto de Nacional de Meteorologia – Ministério da Agricultura e Pecuária**, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/eventos-extremos-chuvas-intensas-e-frio-atingem-diferentes-regi%C3%B5es-do-brasil-em-novembro-de-2022> . Acesso em: 04 set. 2023.
- LYRA, A., TAVARES, P., CHOU, S. C., SUEIRO, G., DEREZYNSKI, C., SONDERMANN, M., ... & GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 132, n.1-2, p. 663-682, 2018.
- MACEDO, M.B.; MENDIONDO, E.M.; RAZZOLINI, M.T.P.; NARDOCCI, A.C. Estrutura de avaliação do risco de infraestrutura de saneamento frente a eventos de inundação em centros urbanos. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ABRHidro, 2021. p. 1-10.
- MACEDO, M.B.; MENDIONDO, E.M.; RAZZOLINI, M.T. P.; GOEL, N.K.; KURIAN, M.; NARDOCCI, A.C. Risk Analysis of Water-Sanitation-Public Health Nexus Facing Flood Events in a Brazilian Megacity. *In: IWA World Water Congress e Exhibition*, 17., 2022, Copenhagen, Denmark. **Anais [...]**. Copenhagen, Denmark: IWA, 2022. p. 1- 4.