

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

Reflexões sobre o zoneamento do município de Garopaba (SC) em função das áreas inundáveis

Talita Montagna¹; Gustavo Antonio Piazza¹; Alondra Beatriz Alvarez Perez²; Rubia Girardi¹ & Adilson Pinheiro²

Abstract: Climate change imposes challenges in disaster risk management. In Brazil, climate change has affected mainly precipitation events. Even events of lesser magnitude have generated impacts in urban areas. This work aimed to map the floods areas of an event and validate it in relation to the municipality's susceptibility map. In addition, the precipitation event was characterized to determine its recurrence. The zoning was analyzed in relation to the flood mapping. According to the rainfall analysis, this event had a return time of 2.41 years. The maximum rainfall intensity had a return time of less than 1 year. The flood area of the reconstructed event (October 2023) was compatible with the “very high” susceptibility class of the municipality's Socioenvironmental Technical Study. According to the results, the largest portion of the zoning affected by the flood event is located in an area that allows housing, community, commercial and service occupations.

Keywords – Flood, coastal urban areas, urban planning, land use, occupation guidelines.

Resumo: Mudanças climáticas têm tornado cada vez mais desafiadora a gestão de riscos de desastres. No Brasil as mudanças no clima têm afetado principalmente os eventos de precipitação. Mesmo eventos de menor magnitude tem gerado impactos nos centros urbanos. Este trabalho visou o mapeamento da mancha de inundação de um evento e a validou em relação ao mapa de susceptibilidade do município. Além disso, foi caracterizado o evento de precipitação com base nos dados de estação pluviométrica, visando determinar sua recorrência. Por fim, foi analisado o zoneamento do município em relação ao mapeamento da inundação. De acordo com a análise da chuva, este evento apresentou um tempo de retorno de 2,41 anos. A intensidade máxima das chuvas apresentou tempo de retorno inferior a 1 ano. A área da mancha de inundação do evento reconstruído (outubro de 2023) teve compatibilidade com a classe de muito alta susceptibilidade do Estudo Técnico Socioambiental do município. De acordo com os resultados, a maior parcela do zoneamento atingida pelo evento de inundação encontra-se sobre uma área que permite ocupações habitacionais, comunitários, comerciais e de serviços.

Palavras-Chave – Manchas de inundação, centro urbanos costeiros, planejamento urbano, uso da terra, diretrizes de uso.

INTRODUÇÃO

Enchentes e inundações representam um risco econômico, social e ambiental nas populações urbanas, e que provavelmente irão se intensificar no futuro (Arnell e Gosling, 2016; Blöschl et al., 2019). Estes fenômenos ocorrem do resultado de interações entre sistemas climáticos e hidrológicos. Com o crescimento populacional e a falta de ordenamento territorial contribuiu-se para o aumento da

1) Instituto Água Conecta - R. Dr. Artur Balsini, 107 - Velha, Blumenau - SC, 89036-240, +554799172-6472, gustavo@aguaconecta.com.br
2) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Trindade, CEP 88.040-370, Florianópolis, SC, adilson.pinheiro@ufsc.br

vulnerabilidade e exposição humana a estes eventos extremos (Wohl, 2019), aumentando a ocorrência de desastres (Kobiyama et al. 2006). A compreensão de como as mudanças climáticas atuam sobre os riscos e desastres é fundamental para criar diretrizes estratégicas de adaptação ao clima (Sofia e Nikolopoulos, 2020).

De acordo com o Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres cerca de 34% dos desastres naturais no mundo foram causados por inundações até 2020 (EM-DAT, 2020). O aumento de perdas e danos gerados por desastres tem refletido na formulação de estratégias de planejamento para o enfrentamento dos riscos em diferentes níveis territoriais. Na ocorrência de inundações, a exposição de pessoas torna-se alvo de preocupação e responsabilidade dos órgãos públicos (Brasil, 2012). No Brasil, há ocorrência frequente de desastres relacionados a fenômenos hidrológicos, incluindo as inundações, com perdas humanas e materiais, representando cerca de 37% dos desastres naturais entre 1991 e 2019 (Brasil, 2022). Cerca de 18% dos decretos de calamidade pública ou de emergência emitidos foram referentes à fenômenos hidrológicos (CNM, 2022). Por isso, a compreensão dos fenômenos hidrológicos é essencial não apenas para a gestão sustentável dos recursos hídricos, mas também para a elaboração de estratégias de mitigação de desastres, garantindo assim a resiliência das comunidades e dos ecossistemas diante das mudanças climáticas e outras pressões ambientais (Kobiyama et al., 2006).

No Estado de Santa Catarina o cenário não é diferente, sendo comum a ocorrência de chuvas intensas, principalmente associadas a fenômenos atmosféricos, como o fenômeno de El Niño (Valdati et al., 2021). No entanto, as chuvas intensas também têm se tornado mais frequentes em anos de neutralidade (Fernandes e Rodrigues, 2018), quando não ocorrem os fenômenos atmosféricos, tornando a previsão destes eventos um verdadeiro desafio. Como causa principal dos problemas relacionados às inundações está também a ocupação irregular das áreas alagáveis e ribeirinhas (Tucci, 2007). A ocupação das margens dos rios ocorre não apenas pela proximidade para o abastecimento, mas também por motivos econômicos. A falta de fiscalização e o alto preço dos imóveis faz com que a população mais vulnerável ocupe as áreas de riscos, por terem menor custo. Visto que estas variáveis influenciam a dinâmica da água nos territórios, que vão além do limite político de cada município, cabe aos gestores municipais buscarem ações de resiliência. Os métodos de prevenção e mitigação de danos causados por eventos de inundações podem ser classificados como medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais geralmente são caras e envolvem intervenções físicas, como barragens, diques ou obras baseadas em engenharia. Já as medidas não estruturais são métodos de intervenção indireta, como avaliação de danos, previsão de eventos, planejamento de recursos hídricos, planejamento territorial e mapeamento das áreas de inundações (Teng et al., 2019). As medidas não estruturais podem ser mais facilmente desenvolvidas e possuem menor custo. No entanto, os tomadores de decisão são receosos quanto as soluções não estruturais pois, não são visíveis e dificilmente são notadas pela sociedade (Pinheiro; Severo, 2023).

A região leste de Santa Catarina apresenta vulnerabilidade à ocorrência de inundações devido a sua topografia de morros e vales, que concentram os escoamentos dos canais e dificulta a drenagem nas áreas baixas. O município de Garopaba na região costeira de Santa Catarina, tem histórico de ocorrência de inundações (IAS, 2021). Neste município verifica-se a ocorrência de diversas regiões com incidência de alagamentos e inundações (Pimenta; Bacci, 2011). Como medida não estrutural, o município de Garopaba está construindo uma base de dados que permitirá maior compreensão do seu território. Parte deste trabalho é o Estudo Técnico Socioambiental de Garopaba (SC) (Unisul, 2022), que demonstra as principais características do município em relação aos núcleos urbanos consolidados, bem como áreas de risco e de interesse ecológico.

Este estudo visa analisar o zoneamento do município de Garopaba em relação a um evento de inundação (em outubro de 2023) caracterizado como muito alta susceptibilidade pelo Estudo Técnico Socioambiental de Garopaba.

MATERIAIS E MÉTODOS

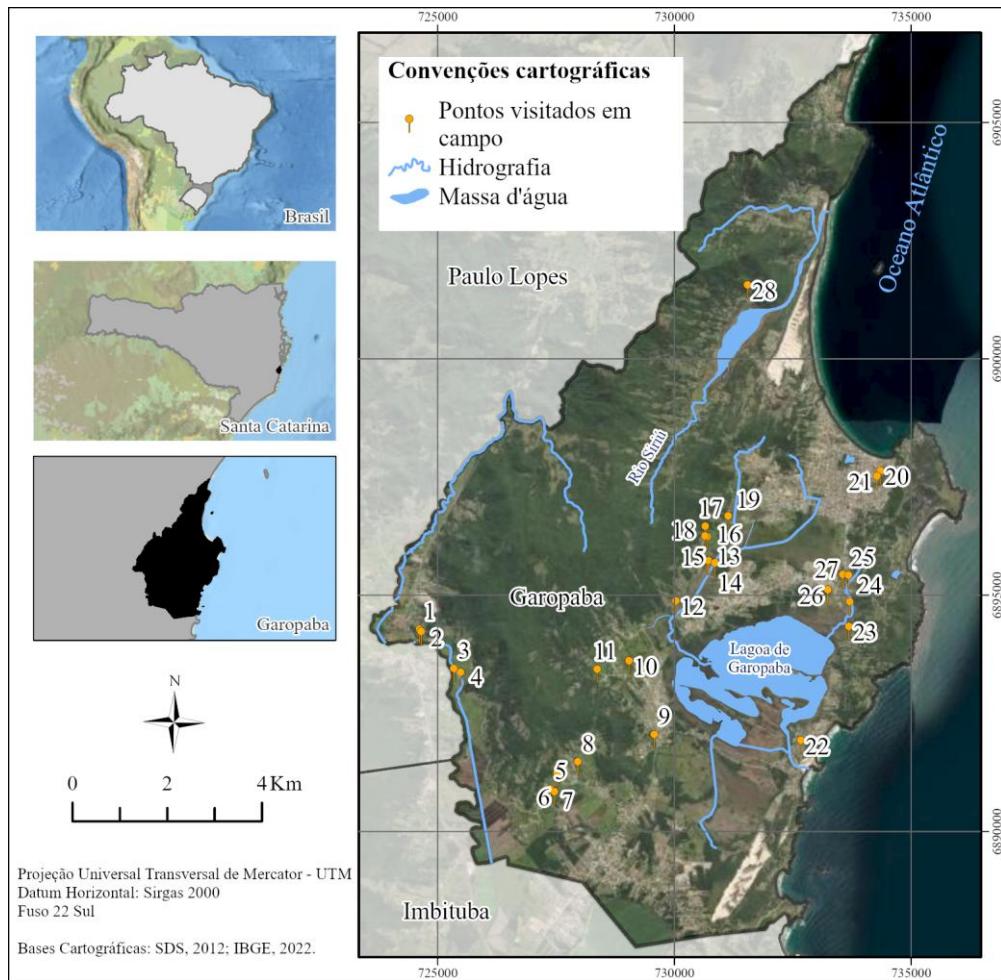
Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Garopaba, localizado a 50 km ao sul de Florianópolis, em Santa Catarina. Garopaba localiza-se na faixa costeira da região subtropical do sul do Brasil, sendo caracterizado por um regime climático fortemente condicionado pela atuação de sistemas atmosféricos de alta pressão, oriundos tanto de massas de ar tropicais marítimas quanto polares marítimas. A massa Tropical Atlântica (mTa), quente e úmida, associada ao anticiclone semi-permanente do Atlântico Sul, exerce influência predominante por meio de ventos provenientes do quadrante norte, com destaque para a persistência dos ventos de nordeste (NE) ao longo de todo o ano. Em contrapartida, a massa Polar Atlântica (mPa), fria e úmida, manifesta-se por meio da incursão de frentes frias acompanhadas por ventos intensos do quadrante sul, seguidas por condições de céu claro após sua passagem (Monteiro, 2001; Unisul, 2022).

A extensão territorial de Garopaba é de 114.773 km², com área urbanizada de 17,25 km² e população estimada em 32.962 pessoas (IBGE, 2024). A população exposta ao risco, de acordo com dados do IBGE de 2010 são 1.416 habitantes. Cabe ressaltar que Garopaba possui uma população sazonal de veraneio, que vem crescendo com os anos.

Na Figura 1 é demonstrada a hidrografia do município e os locais visitados para validação da mancha de inundação. A principal lagoa no município é a Lagoa de Garopaba. Os rios Linhares e Palhocinha desembocam na Lagoa de Garopaba. Já o Rio Siriú deságua na laguna do Macacu e seu canal até o oceano também é nominado de Rio Siriú.

Figura 1 – Delimitação e hidrografia do município de Garopaba/SC e os pontos de visita em campo



Evento de outubro de 2023

No dia 07 de outubro de 2023 ocorreu um evento de precipitação no município de Garopaba/SC. Este evento teve como consequência diversos pontos de alagamentos e inundações. Estes locais atingidos foram amplamente registrados pelos agentes do Grupo de Ações Coordenadas (GRAAC) da Defesa Civil do município. O registro fotográfico com coordenadas geográficas foi realizado pelo aplicativo *Timestamp Camera Enterprise*, que registrou as coordenadas geográficas, a data e a hora.

Os locais atingidos por inundações no evento de outubro de 2023 foram revisitados em 07 de fevereiro de 2024 (Figura 1). Ao total, foram visitados 19 locais e marcados 28 pontos georreferenciados para representar o nível de água. As coordenadas dos limites das manchas foram coletadas com o GPS do Google Earth em *smartphone*. *In-loco*, foram registradas as coordenadas geográficas dos pontos afetados, que posteriormente foram inseridas em SIG, no software ArcGis Pro. A mancha de inundação foi reproduzida pelo cruzamento de informações de modelo digital de terreno (MDT) e da delimitação dos níveis da água, a partir da visita *in-loco*.

Caracterização do evento de chuva

Para caracterizar o tempo de retorno (TR) do evento de outubro de 2023, foi realizada a análise das precipitações máximas diárias utilizando o modelo de distribuição de Gumbel (Kite, 1978). Para

esta análise utilizou-se os dados da estação pluviométrica de Paulo Lopes (código ANA 02748017) a 9 km da sede de Garopaba. As máximas diárias anuais foram extraídas do período de 1976 a 2022. Após obter os coeficientes da equação ela foi empregada ao valor da altura de precipitação de outubro de 2023 para obter seu TR. Foi testado o ajuste dos dados de precipitação ao modelo de distribuição de Gumbel. Em seguida, calculou-se a distribuição empírica por meio da fórmula de posição de plotagem de Weibull (*Weibull plotting position formula*) e testou-se a aderência entre as curvas teórica e empírica pelo teste não-paramétrico Kolmogorov-Smirnov. O período de retorno da chuva foi calculado pela equação de intensidade e frequência (IDF) que relaciona a intensidade, duração e frequência (Collischonn & Dornelles, 2015). Para caracterizar o evento de outubro de 2023 com a equação IDF foi utilizada a estação Areias de Palhocinha (código ANA 02848012), a 12 km da estação pluviométrica de Paulo Lopes e 4 km de Garopaba (dados de março/2015 a março/2024), com intervalo temporal de 10 min. Para compreender o impacto do evento analisado sobre o sistema pluvial foram estimadas intensidades de 60 e 120 minutos, com TR de 1, 5, 10 e 25 anos.

Comparação com o mapa de susceptibilidade e zoneamentos

O resultado da reconstrução da mancha de inundação do evento de 07 de outubro de 2023 foi comparado com o Mapa de Susceptibilidade a Inundação do Estudo Técnico Socioambiental do município de Garopaba (Unisul, 2022) que utilizou o modelo HAND - Height Above Nearest Drainage (Nobre et al., 2015). No Estudo Técnico Socioambiental (Unisul, 2022), a cota de inundação fornecida pelo HAND foi chamada de cota topográfica por estar associada a uma cota de referência.

Quantificou-se a área do zoneamento do município de Garopaba (Garopaba, 2010) e sobrepondo sobre a mancha de inundação mapeada. A geração da mancha de inundação considerou apenas a topologia da superfície, não considerando objetos, como casas, prédios, e demais construções. A validação da mancha de inundação se deu por conferência dos locais identificados nas fotografias. Adicionalmente, foram realizadas reuniões para apresentação dos resultados para a Defesa Civil, e com o Instituto de Meio Ambiente de Garopaba (IMAG).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

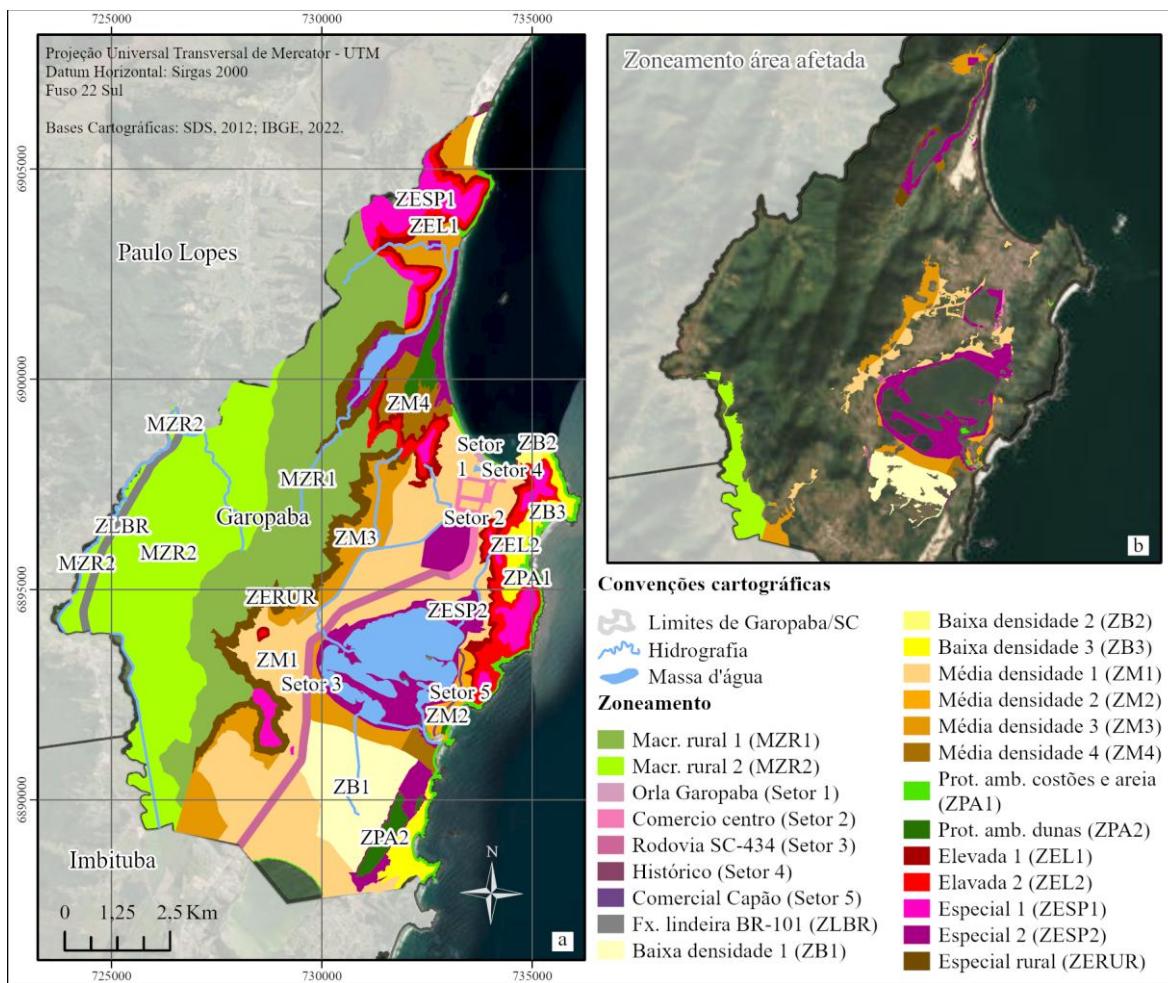
Caracterização da chuva

No dia 07 de outubro de 2023, na estação de Areias de Palhocinha foi registrada uma altura de precipitação de 141 mm em 24 horas. A precipitação acumulada nos 5 dias anteriores ao evento foi de 50,8 mm. O ajuste da série histórica à distribuição de Gumbel apresentou um TR de 2,41 anos para a chuva diária de 141 mm. A intensidade máxima das chuvas no evento de outubro de 2023 foi de 20,6 mm/h para uma duração de 60 min e 18,6 mm/h para uma duração de 120 min. O tempo de retorno de chuvas com esta intensidade média é de 0,005 anos e 0,025 anos, respectivamente, inferiores a 1 ano. Os resultados indicam que o evento de 07 de outubro de 2023 tem uma intensidade de chuva de alta frequência de ocorrência.

Análise das classes de zoneamento

A reconstrução da mancha de inundação do evento de 07 de outubro de 2023 gerou uma compatibilidade com a classe de muito alta susceptibilidade do Estudo Socioambiental de Garopaba. Na Figura 2a é apresentado o zoneamento do município de Garopaba (SC) delimitado pela Lei Complementar n.º 1.463, de 29 de outubro de 2010 (Garopaba, 2010) e a área atingida pela manchada de inundação do evento de outubro de 2023.

Figura 2 - Zoneamento do município e a sobreposição da mancha de inundação do evento de outubro/2023



Fonte: Garopaba (2010) adaptado de IAC (2024)

A taxa de ocupação do zoneamento em Garopaba não ultrapassa 50%, e não são permitidas construções com mais de 2 pavimentos, reduzindo o adensamento humano. Os usos do Setor 1, 2, 3, 4 e 5, ZM1, 2 e 4 e ZLBR permitem ocupar até 50% da área do imóvel. Apenas nos zoneamentos MZR1, MZR2, ZPA1 e ZPA2 não permitem usos habitacionais, comerciais e comunitários.

A área de inundação do evento de outubro de 2023 atingiu zoneamentos com índices urbanísticos que permitem ocupações habitacionais, comunitários, comerciais e de serviços, sendo eles do tipo Zona Especial 2 (ZESP2) cerca de 4,3 km², de Zona de Média Densidade 3 (ZM3) com 2,7 km², Macrozona Rural 2 (MZR2) com 2,4 km².

O zoneamento mais atingido é o ZESP2 (Figura 2b), que permite áreas mínimas do imóvel de 2.000 m², podendo ocupar até 15% da área total e com coeficiente de aproveitamento de 0,6; e permite que 40% da área seja impermeabilizada. Os usos permissíveis neste zoneamento são habitacionais, comunitário, comercial e serviços (Garopaba, 2010).

O segundo zoneamento mais atingido foi o ZM3 (Figura 2b) que determina lotes mínimos de 360 m², podendo ocupar até 35% da área do imóvel e coeficiente de aproveitamento de 0,7, permitindo impermeabilizar até 75% da área do imóvel. Os usos permitidos são: habitacional, comunitário, comercial e de serviços (Garopaba, 2010).

O terceiro zoneamento mais atingido foi o MZR2 (Figura 2b) determinando a área pelo Módulo do INCRA, podendo ocupar até 10% da área do imóvel e coeficiente de aproveitamento de 0,1; porém, não determina a taxa de permeabilidade do solo. Os usos permitidos são para preservação, pesquisa, educação, turismo e lazer (Garopaba, 2010). Dentre as três áreas afetadas pelo evento de precipitação de outubro de 2023, este é o zoneamento menos problemático em relação à exposição de pessoas e bens materiais.

Reflexões sobre o zoneamento da área inundável

Dos zoneamentos afetados, entende-se que o uso residencial não deveria ser permitido para locais atingidos pela mancha de inundação de muito alta susceptibilidade. O mapeamento das áreas inundáveis fornece subsídios para o planejamento adequado do uso da terra, a fim de criar medidas para mitigar os danos causados por inundações. Por exemplo, a reestruturação do plano diretor poderia evitar a ocupação de novas áreas de risco e adensamento populacional em áreas inundáveis, além da manutenção das cotas de inundação e aumento da vida útil do sistema de microdrenagem (Girardi et al. 2023).

No entanto, caso os zoneamentos sejam mantidos, entende-se que soluções como pilotis ou mesmo alternativas de retenção individual de água no lote (para infiltração) podem ser utilizadas em área de média e baixa susceptibilidade. Diversas estratégias de ordenamento territorial podem ser utilizadas para mitigar os impactos negativos em eventos de inundações, porém o zoneamento de áreas susceptíveis é uma medida não estrutural e de baixo custo, que permite reduzir por meio do disciplinamento do uso e ocupação da terra (Larentis et al., 2020). Outras estratégias incluem a atualização de diretrizes para a construção, incluindo a elevação de edifícios, uso de materiais resistentes à água, pilotis, para locais abaixo da cota de inundação recorrente.

Salienta-se também a importância de preservar as faixas de mata ciliar, Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo de rios e encostas onde a construção é limitada ou proibida, conforme o Código Florestal (Brasil, 2012). A mata ciliar possui a função de infiltrar água no solo para manter o nível freático dos rios, interceptar água da chuva, reduzir o escoamento superficial, diminuir a velocidade do fluxo de escoamento do rio, e consequentemente e a perda de solo. Assim, é de extrema importância ações para a recuperação das APPs, para que estas possam cumprir seu papel no ambiente (Larentis et al., 2020).

CONCLUSÕES

Estudos sobre o impacto das precipitações extremas são de suma importância no cenário atual de mudanças climáticas, pois auxiliam na gestão de riscos e desastres. A chuva do dia 07 de outubro de 2023 se caracterizou como uma chuva recorrente, no entanto, o evento provocou inundações e alagamentos. O comparativo da mancha de inundação do evento de outubro de 2023 com as classes

de susceptibilidade do Estudo Técnico Socioambiental (Unisul, 2022) indicou que o evento de 2023 foi compatível com a classe de muito alta susceptibilidade de inundações (até 1,5 m).

Nas áreas inundadas pelo evento de outubro de 2023, três zoneamentos se destacaram na área atingida, a Zona Especial 2 (ZESP2), Zona de Média Densidade 3 (ZM3) e Macrozona Rural 2 (MZR2). Devido aos impactos negativos, estes locais não deveriam ser permitir construções em áreas inundáveis. As reflexões apresentadas visaram apoiar o ordenamento do município de Garopaba (SC) e a mitigação de desastres oriundos de inundações.

Soluções não estruturais são eficazes com a participação da população local. A implementação de planos diretores e de ordenamento territorial, assim como planos de drenagem urbana, em âmbito municipal pode atenuar a exposição de pessoas e os prejuízos causados por desastres naturais, ao direcionar o desenvolvimento para regiões consideradas mais seguras. Conhecer quais locais são atingidos por esses eventos, e informar a população sobre os riscos associados é essencial para o desenvolvimento sustentável em nível municipal.

AGRADECIMENTOS à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação de Santa Catarina (FAPESC) pelo Edital FAPESC nº 32/2022 (Termo de Outorga nº 2022TR002182). O último autor agradece ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (processo nº 304475/2020-3). Os autores agradecem também os agentes do Grupo de Ações Coordenadas (GRAAC) da Defesa civil de Garopaba pelos registros fotográficos e o Instituto de Meio Ambiente de Garopaba (IMAG) pelo apoio e suporte na construção da mancha de inundações.

REFERÊNCIAS

- ARNELL, N. W. E GOSLING, S. N. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Clim. Change* 134, 387–401, 2016.
- BLÖSCHL, G. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573, 108–111, 2019.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC); dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e sobre o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC); autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; e dá outras providências. Brasília, 2012.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). Danos e prejuízos causados por desastres no Brasil entre 2013 e 2022 (Estudo Técnico). 2022.
- EM-DAT, 2020. EM-DAT The International Disaster Database.
- FERNANDES, L. G.; RODRIGUES, R. R. Changes in the patterns of extreme rainfall events in southern Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 38, p. 1337-1352, 2018.
- GIRARDI, R.; LIBOS, N.M.C; FERREIRA, D.B. Soluções Baseadas na Natureza aplicadas no Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais de Jaraguá do Sul – SC. 3 XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracajú – SE.
- IAS – Instituto Água e Saneamento. Municípios e Saneamento. Garopaba/SC. Abastecimento de Água. 2021. Disponível em: <<https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/sc/garopaba>>. Acesso em: 20 abr. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2024. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/garopaba/panorama>>. Acesso em: 20 abr. 2025.

KOBIYAMA, M. et al (org.). Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109p

LARENTIS, D.; NOGARE, M; TUCCI, C; POHLMANN, P. Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas. Revista de Gestão de Água da América Latina, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 13, 22 jul. 2020. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v17e13>.

MONTEIRO, Carlos A. F. Atlas Geográfico de Santa Catarina. Florianópolis: MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. Revista do Departamento de Geociências – GEOSUL. Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Processes*, v. 30, n. 2, p. 320-333, 6 ago. 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10581>.

PIMENTA, L. H. F.; BACCI, M. B. Avaliação físico-geográfica aplicada a uma ação civil pública na zona costeira, SC, Brasil. In: XIII Encuentro de Geógrafos da América Latina, 2011, Costa Rica, San José. EGAL, 2011.

PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L. Enchente e Inundações na Bacia do Rio Itajaí, SC. Em Desastres e Água: Eventos Históricos no Brasil (p. 400). ABRHidro. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GAROPABA. Lei Complementar n.º 1.463, de 29 de outubro de 2010 – Anexo 05 - Fichas particularizadas relativas às zonas e setores descritos no zoneamento urbano municipal. Disponível em: <<https://garopaba.atende.net/subportal/diretoria-de-tecnologia-da-informacao-dti/pagina/plano-diretor>>. Acesso em: 27 abr. 2025.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p. (coleção ABRH de Recursos hídricos; v.11).

UNISUL - Fundação Universidade Do Sul De Santa Catarina. Estudo Técnico Socioambiental. Garopaba, 2022.

WOHL, E. Forgotten Legacies: Understanding and Mitigating Historical Human Alterations of River Corridors. *Rev. Geophys.* 5181–5201, 2019.