

CONTRIBUIÇÕES DE MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO EM ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE CUBATÃO - SP (Aplicação do *Hand Model*)

Terina Rocha Batista

Coorientadora: Sarah Andrade Sampaio

Orientadora: Regina Célia de Oliveira

INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2022), atualmente, aproximadamente 87% da população do país reside em áreas urbanas. Nessa perspectiva, durante o processo de formação das cidades, foi evidente o estabelecimento de numerosas comunidades próximas aos fundos de vales e planícies de inundação, e à medida que esses centros urbanos crescem, ocorre a redução ou até eliminação da funcionalidade natural. Conforme (Moraes *et al.*, 2012), as inundações são um dos eventos naturais mais comuns globalmente, impactando uma grande quantidade de pessoas em todas as regiões. No Brasil, elas têm gerado enormes tragédias para seus habitantes, em grande parte devido à expansão caótica nas proximidades dos cursos d'água e conseqüentemente a impermeabilização do solo.

De acordo com Moraes *et al.* (2012, p.188), “em ambiente natural, as enchentes sempre fizeram parte das características hidrológicas das bacias hidrográficas”. Contudo, com o processo de urbanização, a maior parte da superfície de bacias hidrográficas são amplamente impermeabilizadas por construções e pavimentos, além da instalação de sistemas de drenagem para escoamento de águas pluviais. Por conseguinte, há uma redução da infiltração da água no solo, e com o volume não infiltrado sendo direcionado para a superfície o resultado é um aumento do escoamento superficial e uma redução no tempo de deslocamento dos fluxos hídricos. Isso leva também a um aumento nas vazões máximas e à antecipação dos picos de inundação (Tucci; Mendes, 2006).

Faz-se então necessário, compreender as peculiaridades desse evento que pode trazer inúmeros prejuízos sociais e econômicos. Segundo Eckhardt (2008, p.26), “inundação é o termo utilizado para o excesso do volume de água que não consegue ser drenado pelo canal principal (leito menor)”, esse extravasamento acaba atingindo as áreas ao entorno inundando o (leito maior), também conhecido como planície de

inundação, onde podem estar situadas vias de circulação, residências, parques, industriais dentre outros elementos que compõem a infraestrutura urbana (Eckhardt, 2008). Dessa forma, as inundações podem ocorrer de duas maneiras, as “que ocorrem isoladamente ou de forma integrada: inundações devido à urbanização ou inundações naturais [...] em ambiente urbano ou rural” (Eckhardt, 2008, p.28). Assim, o avanço da urbanização sobre as planícies de inundação dificulta o processo de equilíbrio ecológico do sistema proporcionado pela vegetação ciliar, impedindo essas áreas de cumprirem sua função hidrológica. Portanto, é extremamente importante o reconhecimento, a localização e quantificação dos fluxos d’água” (Coelho, 1994, p .94), para melhor compreensão dos processos geomorfológicos como um subsídio para um planejamento adequado de mitigação de possíveis desastres.

Nesse sentido, o mapeamento de áreas que apresentam suscetibilidade a inundações torna-se uma ferramenta eficiente que pode ser utilizada para delinear políticas que devem ser aplicadas ao uso do espaço urbano de maneira a viabilizar medidas estruturais ou compensatórias. Isto posto, esse trabalho teve como objetivo principal mapear e espacializar categorizar áreas suscetíveis a inundação no município paulista de Cubatão em escala de 1:50.000. Localizado na região da Baixada Santista, a cerca de 70 km da capital, Cubatão tornou-se objeto de estudo deste trabalho devido às alterações que ocorreram em sua paisagem, herdadas das antigas organizações espaciais modeladas especialmente pela urbanização do fim século XX (Pinton e Cunha, 2014), que implicaram em uma ocupação desequilibrada do território incluindo a construção de habitações em áreas suscetíveis a inundações.

O mapa de suscetibilidade à inundação teve como base metodológica uma proposta adaptada de Saaty (1977) que gera uma graduação de relevância através de ponderações entre as categorias dos parâmetros avaliados. Para tanto foram utilizados os softwares de Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) como Qgis 3.28.2 produzindo a cartografia base e o Modelo Digital de Elevação (MDE) e *Hand Model* utilizado para a categorização altimétrica de suscetibilidade. Como resultado do trabalho, foi possível identificar áreas com cinco categorias de suscetibilidade no município, proporcionando um documento que pode ser utilizado como base para projetos de mitigação na cidade.

METODOLOGIA

Nesta seção, serão apresentados os materiais e softwares utilizados como fonte secundária para a geração de informações proeminentes a respeito do tema estudado. Para tanto, essa metodologia aborda três diferentes etapas: na primeira etapa houve o levantamento de dados bibliográficos para uma fundamentação teórica; a segunda etapa consistiu no levantamento de materiais técnicos como a base cartográfica a ser utilizada e a elaboração de mapas temático a respeito do nível de suscetibilidade a inundações e por fim, a última etapa de forma analítica buscou compreender todas as informações adquiridas ao longo da pesquisa obtendo um panorama geral sobre a situação em que se encontra a área urbanizada e/ou edificada município.

A primeira etapa desta metodologia teve como objetivo o levantamento bibliográfico para a fundamentação teórica da proposta. Para tanto foram utilizados como base os trabalhos Coelho (1994), Eckhardt (2008), Moraes *et al.* (2012), Abreu (2023) e Campioli e Vieira (2019) esclarecendo os conceitos base de inundações, além dos trabalhos de Pinton (2012), Pinton e Cunha (2014) abordando temas próprios do município estudado como sua história de ocupação e infraestrutura, já do ponto de vista de escolha metodológica os trabalhos que nortearam a classificação bem como análise do mapa de suscetibilidade a inundações foram o de Eckhardt (2008), Moraes *et al.* (2012), sobretudo o de Saaty (1977) que estabeleceu parâmetros para categorizar as informações, além de Goerl, Michel e Kobiyama (2017) e Nobre *et al.* (2011) principais ideias sobre a utilização do software *Hand Model* para a classificação de inundações.

A segunda etapa foi subdividida em três estágios distintos. No primeiro estágio, foram organizadas curvas de nível de 20m fornecidas pelo IBGE (2022), em seguida, utilizando a técnica de interpolação através de ferramentas do complemento *GRASS* gerou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) que proporcionou uma visualização adequada sobre a altimetria da área de estudo.

O segundo estágio diz respeito ao processamento do raster gerado na etapa anterior utilizando o software *Hand Model*. Esse ponto acontece em quatro momentos distintos, no primeiro momento o MDE é corrigido de maneira que reflita de forma mais precisa o terreno natural, posteriormente, o software determina uma rota potencial de fluxo de água indicando o caminho que a inundações pode tomar, já no terceiro momento é calculado a capacidade de cada área do terreno para acumular água, o que é crucial para previsão de inundações, por fim, o último momento é calculado o HAND, que por

sua vez é a análise da altitude de um ponto em relação à drenagem mais próxima, oferecendo uma representação visual das zonas suscetíveis a inundação, todo o processo realizado no *Hand Model* forneceu raster com informações que foram utilizadas de acordo os critérios adotados na pesquisa pesquisa.

O último estágio da segunda etapa foi realizado no software livre Qgis com a utilização do produto raster produzido na etapa anterior onde se utilizou como base de classificação das áreas suscetíveis a inundações os parâmetros: Muito alta; Alta; Média; Baixa; Muito baixa/nula de acordo com seu respectivo valor associado a altimetria do terreno em metros, como mostra a tabela a seguir.

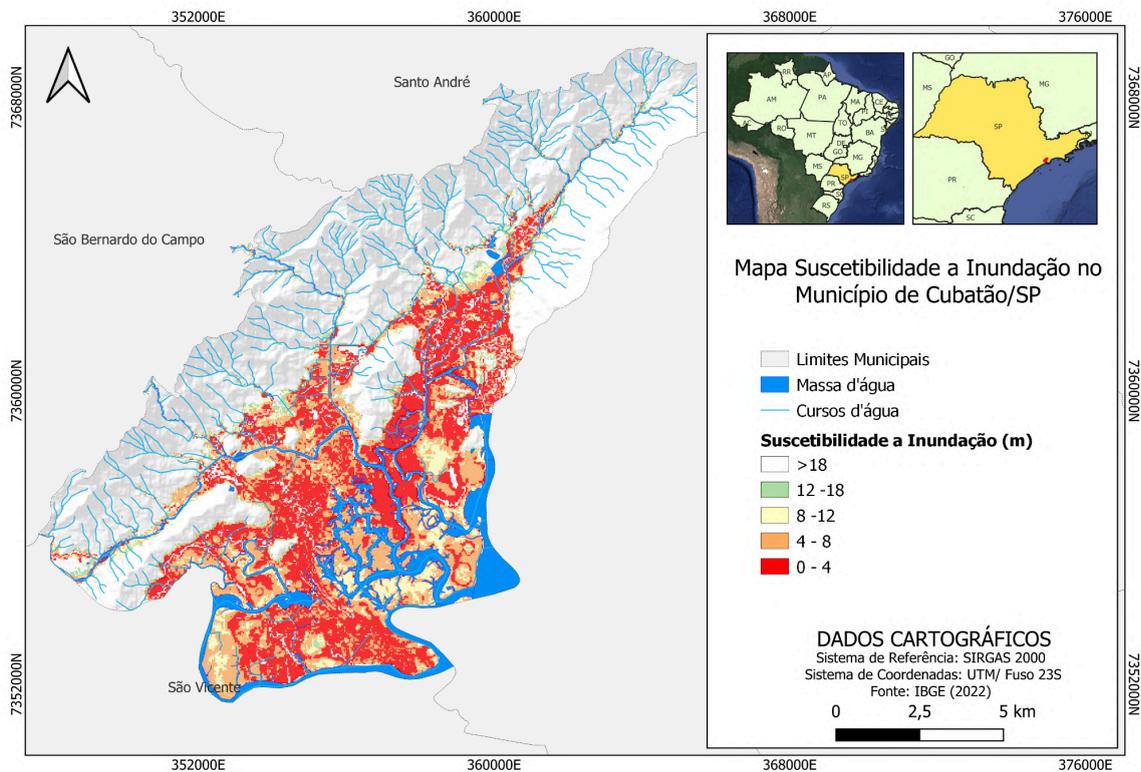
Tabela 1: Atribuição de valores para classificação de suscetibilidade à inundação

Valor	Altitude (m)	Classificação
1	0 - 4	Muito Alta
2	4,01 - 8	Alta
3	8,01 - 12	Média
4	12,01- 18	Baixa
5	>18	Muito Baixa ou Inexistente

Fonte: Elaboração Própria.

Após atribuição dos valores em relação à altimetria do terreno, pôde-se visualizar e espacializar as áreas de suscetibilidade a inundação de todo o município, considerado áreas urbanizadas e não urbanizadas, obtendo a categorização de (Muito Baixa/Nula) atribuída a cor branca, (Baixa) de cor verde, (Média) correspondendo a cor amarela, (Alta) de cor laranja e (Muito Alta), atribuída a cor vermelha, permitindo observar um panorama geral da área de estudo.

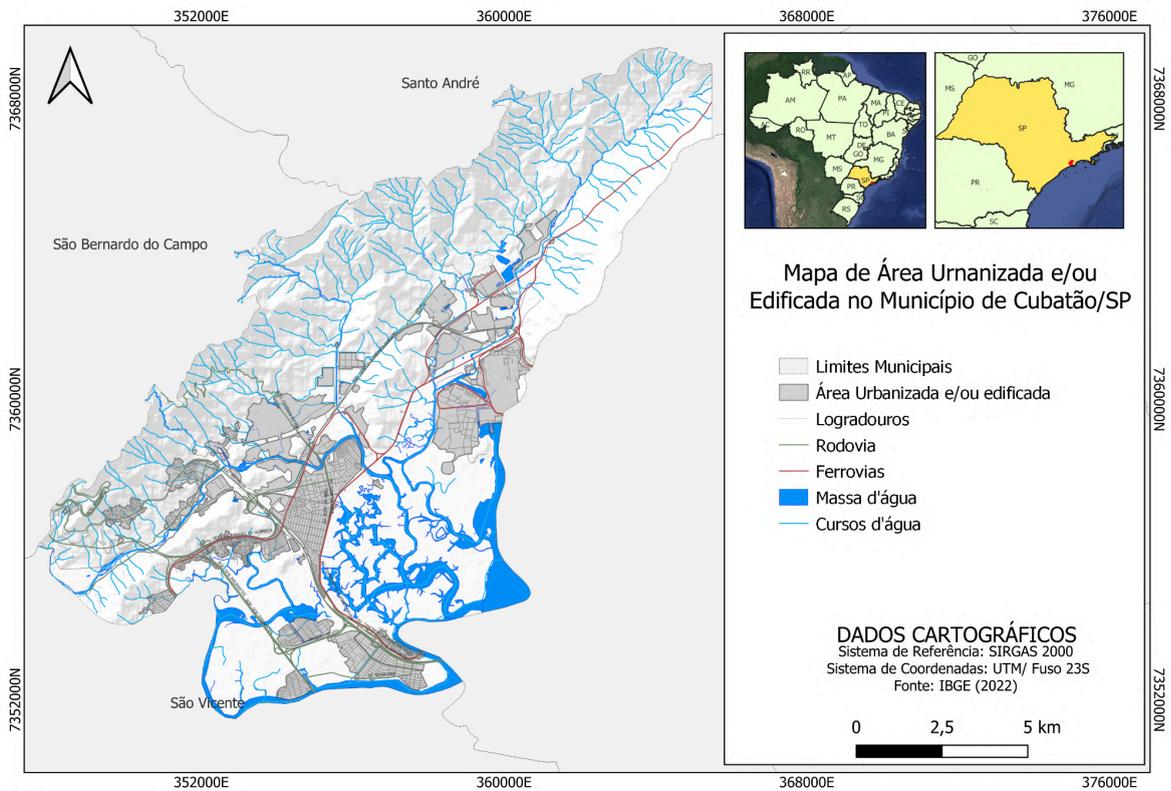
Figura 2: Mapa de suscetibilidade à inundação do Município de Cubatão-SP.



Fonte: Elabora o própria com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Ainda nesta etapa, foi vetorizado o raster já classificado com os parâmetros de suscetibilidade e realizada a sobreposi o com a malha urbana de Cubatão. Essa etapa possibilitou a elabora o de polígonos que identificaram e diferenciaram cada área do município e seu nível de suscetibilidade, bem como o cáculo da área de cada região afetada de acordo com sua classifica o, gerando dados correspondentes ao tamanho exato de cada polígono em metros quadrados.

Figura 3: Mapa de área urbana do Município de Cubatão-SP.



Fonte :Elaboração própria com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

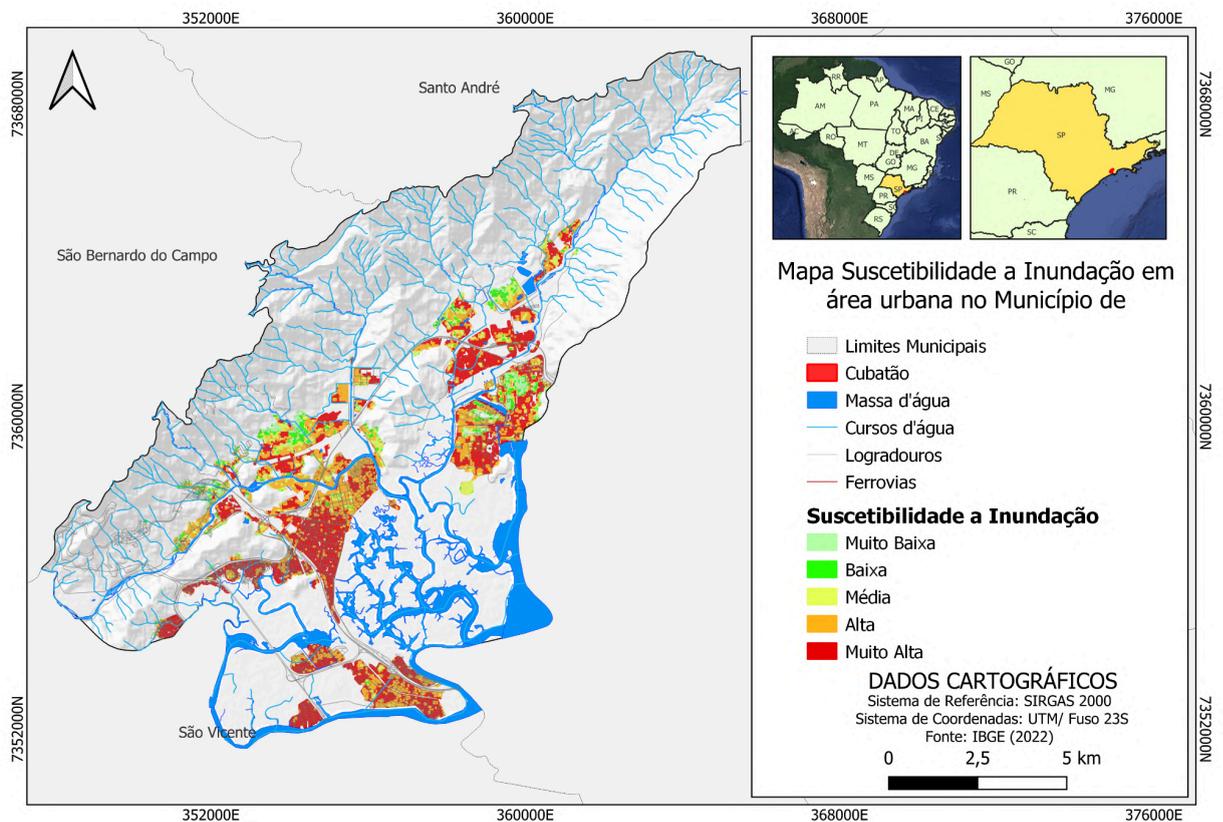
A terceira criou assim, um novo produto cartográfico, que teve origem no cruzamento tanto das informações a respeito da área urbana do município, quanto na suscetibilidade à inundação presente naquela região, servindo então como um material de auxílio à política pública municipal. Concomitantemente, foi criada uma tabela relacionando as áreas desses polígonos e seus respectivos tamanhos em relação à área total urbanizada de Cubatão, o que gerou uma tabela de porcentagem que indicou o tamanho da influência de cada categoria em relação à totalidade da área urbana de Cubatão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizados todos os procedimentos metodológicos, foi possível chegar a um diagnóstico que proporcionou analisar de maneira comparativa as áreas que estão mais suscetíveis a inundação no município de Cubatão e identificar os locais urbanizados e edificados que estão mais passíveis de serem atingidos por esse tipo de fenômeno.

É possível notar na (Figura 3), que boa porção da área urbana do município de Cubatão se encontra em (Alta) e (Muito Alta) suscetibilidade de inundação. Esse fato torna preocupante a situação dos habitantes da cidade, uma vez que de acordo com as tabelas do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Cubatão desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Cubatão (2019), apresenta cidade constituída em sua maioria por domicílio permanentes, onde da totalidade de ocupação do municipal (148km²), 37,4% é de área urbana, subdividindo-se em 4,76% de áreas residenciais, 0,92% de comércio central, 5,31% pertencentes a comércio de serviços, 14,31% de indústrias e 12,10% de interesse público.

Figura 4: Mapa de suscetibilidade à inundação em área urbana do Município de Cubatão-SP.



Fonte :Elaboração própria com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Na tabela abaixo, após espacializar os dados de suscetibilidade à inundação na área urbana de Cubatão, foi possível dimensionar o tamanho de cada polígono e sua classificação, gerando uma somatória que indicou o tamanho de cada área em quilômetros quadrados.

Tabela 2: Atribuição de valores para classificação de suscetibilidade à inundação na Zona Urbana do Município de Cubatão.

Classificação	Parâmetros		Área (km ²)	Porcentagem (%)
	Hand	Altitude(m)		
Muito Alta	1	0 - 4	10,71	26,2
Alta	2	4,01 - 8	14,9	36,5
Média	3	8,01 - 12	5,15	12,6
Baixa	4	12,01 - 18	6,22	15,2
Muito Baixa	5	>18	3,87	9,5
Total			40,85	100

Fonte: Elaboração Própria.

A (Tabela 2) confirma o indicativo de (Alta) suscetibilidade da área urbana do município com 14,9 km² representando 36,5% da área urbana, seguido por (Muito Alta) com 10,7 km² e 26,2%, posteriormente, com menores áreas de susceptibilidade vem a classificação (Baixa) com 6,2 km² ocupando 15,2 %, (Média) com 5,1 km² responsável por 12,6% da área urbana e (Muito Baixa) totalizando 3,8 km² equivalente a 9,5% de extensão na área urbana da cidade.

Dessa maneira, nota-se que mais da metade de sua área urbana está situada entre (Alta) e (Muito Alta) suscetibilidade, somando 62,7% sua totalidade. Tais dados levantam um sinal de alerta a toda população cubatense que pode ser atingida de maneira significativa por esses eventos que trazem riscos a seus pertencentes materiais e imateriais, podendo colocar também suas vidas em perigo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada através deste trabalho, revelou uma preocupação significativa com a expansão urbana caótica em regiões de fundo de vale e áreas de manguezais e suas consequências socioambientais. A urbanização acelerada de Cubatão-SP, como em muitas outras cidades, resultou em uma grande porção de sua área urbana situada em regiões de alta suscetibilidade a inundações, o que pode impactar consideravelmente seus habitantes. O mapeamento e a categorização das áreas mais vulneráveis por meio do *Hand Model*, se mostrou uma ferramenta valiosa para a análise espacial desses eventos no Município. Portanto, identificar e mapear essas regiões torna-se fundamental para o planejamento urbano adequado e a mitigação dos riscos, garantindo maior segurança e resiliência para a população diante desses eventos.

Palavras-chave: Suscetibilidade a inundação; Modelo Hand; Cubatão; Mapeamento; Modelo Digital de Elevação.

REFERÊNCIAS

CUBATÃO. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Cubatão. Cubatão:** Prefeitura Municipal de Cubatão, 2019.

COELHO NETO, A. L. **Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da (Orgs). *Geomorfologia: uma atualização de bases conceituais.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2022.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

ECKHARDT, R. Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS. 2008.

MORAES, I. *et al.* Interferência do uso da terra nas inundações da área urbana do córrego da servidão, Rio Claro (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012.

PINTON, L; CUNHA, C. Diagnóstico do estado geoambiental da área urbana do município de Cubatão (SP). **Sociedade & Natureza**, v. 26, p. 353-367, 2014.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2006, p. fa302.